

**Stokastik Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Üç Boyutlu Çelik Taşıyıcı
Sistemlerin Optimum Tasarımı ve Ülkemiz Yapı Mühendisliğine
Uygulanması**

Proje No: 108M070

Doç. Dr. Oğuzhan Hasançebi
Prof. Dr. Mehmet Polat Saka

ARALIK2010

ANKARA

ÖNSÖZ

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Mühendislik Araştırma Grubu (MAG) tarafından desteklenen 108M070 nolu bu projeyle, genetik algoritmalar, evrimsel stratejiler, tabu arama, harmoni arama, karınca koloni, benzetimli tavlama ve partikül küme stokastik arama tekniklerinin optimum yapı tasarımında kullanımının araştırılması ve bu tekniklerin daha etkin kullanılmaları yönünde yeniden formüle edilmesi planlanmıştır. Çelik taşıyıcı sistemli binalar için ulusal ve uluslararası şartnamelerce öngörülen yük ve tasarım kriterleri altında optimum tasarımların gerçekleştirebileceği bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesi ve ülkemizde oldukça maliyetli olarak bilinen çelik yapıların daha ekonomik olarak tasarlanması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, sözü edilen sisteme sahip binaların düşük maliyetle inşa edilebilmeleri için tasarımlarında dikkat edilmesi gereken önemli hususların aydınlatılması ile (kolon doğrultu seçimi, yapı modeli seçimi, vs.) pratikte kullanılabilecek yararlı bilgilerin üretilmesi çalışmanın hedefleri içinde yer almıştır. Bu amaçla güncel hayattan alınan gerçek uygulamalarla, yapı optimizasyonu ile elde edilecek düşük maliyet miktarının reel olarak tespiti sağlanabilmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET xi

ABSTRACT xii

1 GİRİŞ 1

2 OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ 6

2.1 STOKASTİK OPTİMİZASYON METOTLARI	6
2.1.1 BENZETİMLİ TAVLAMA	7
2.1.2 HARMONİ ARAMA	11
2.1.3 GENETİK ALGORİTMALAR	14
2.1.4 TABU ARAMA	17
2.1.5 KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU	19
2.1.6 PARTİKÜL KÜME OPTİMİZASYONU	22
2.1.7 AYRIK EVRİMSEL STRATEJİLER	24

3 OPTİMUM BOYUTLANDIRMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ 28

3.1 PROBLEM FORMÜLASYONU	28
--------------------------------	----

4 BİLGİSAYAR UYGULAMALARI 34

4.1. PROGRAMLARIN KULLANIMI VE GÖRSEL ÖZELLİKLERİ	35
---	----

5 TASARIM ÖRNEKLERİ 41

5.1 TASARIM YÜKLERİ	41
5.1.1 Dikey Yükler	41
5.1.2 Yanal Rüzgar Yükleri	42
5.1.3 Deprem Yükleri	43
5.2 SAYISAL ÖRNEKLER	44
5.2.1 224-Elementli Çelik Uzay Çerçeve	45
5.2.2 325-Elementli Çelik Uzay Çerçeve	50
5.2.3 568-Elementli Çelik Uzay Çerçeve	55

6 PARALEL ALGORİTMA VE PARALEL HESAPLAMA SİSTEMİ 60

6.1 GİRİŞ	60
6.1.1 Donanım Teknolojileri	60
6.1.2 Yazılım Teknolojileri	61
6.1.3 Paralel Algoritma	61
6.1.4 Paralel Uygulama	63
6.2. SAYISAL ÖRNEKLER	64
6.2.1 1040-elementli Çelik Uzay Çerçeve	64
6.2.2 3590-elementli Uzay Çelik Çerçeve	69
6.2.3 7648-elementli Uzay Çelik Çerçeve	75

7 KOLON ORYANTASYONLARININ ÇELİK ÇERÇEVELERİN MİNİMUM AĞIRLIKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ 82

7.1 GİRİŞ	82
7.2 AYRIK EVRİMSEL STRATEJİLER PARAMETRELERİ	82
7.3 TASARIM PROBLEMLERİ	83
7.3.1 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE	83
7.3.1.1 Yapısal Sistem	83
7.3.1.2 Test Sonuçları	90
7.3.1.3 Temel rüzgar hızının V=90 mph olduğu durum	91

7.3.1.4 Temel rüzgar hızının V=105 mph olduğu durum.....	94
7.3.1.5 Temel rüzgar hızının V=120 mph olduğu durum.....	98
7.3.1.6 Temel rüzgar hızının V=150 mph olduğu durum.....	101
7.3.2 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE.....	104
7.3.2.1 Yapısal Sistem.....	104
7.3.2.2 Test Sonuçları.....	110
7.3.3 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE.....	114
7.3.3.1 Yapısal Sistem.....	114
7.3.3.2 Test Sonuçları.....	120
7.3.4 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE.....	123
7.3.4.1 Yapısal Sistem.....	123
7.3.4.2 Test Sonuçları.....	129
7.3.5 1230 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE.....	132
7.3.5.1 Yapısal Sistem.....	132
7.3.5.2 Test Sonuçları.....	139
7.3.6 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE.....	143
7.3.6.1 Yapısal Sistem.....	143
7.3.6.2 Test Sonuçları.....	155
8 OPTİMUM ÇAPRAZ MODELLERİ 162	
8.1 GİRİŞ.....	162
8.2 ÇAPRAZ TÜRLERİ.....	164
8.3 YAPILARIN MALİYET ANALİZİ.....	168
8.3.1 Elemanların Maliyeti.....	169
8.3.2 Bağlantıların Maliyeti.....	169
8.3.3 Bağlantı Noktalarındaki Malzeme Maliyeti.....	170
8.3.4 Bağlantı Noktalarının Montaj Maliyeti.....	171
8.3.5 Taşıma Maliyetleri.....	172
8.3.6 İnşaat Maliyeti.....	172
8.3.7 Ekstra Maliyetler.....	173
8.4 TEST YAPILARI.....	173
8.4.1 Yerçekimi Yükleri.....	177
8.4.2 Rüzgar Yükleri.....	178
8.5 SONUÇLARIN YORUMLANMASI.....	203
8.6 SONUÇLAR VE ÖZET.....	206
9 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER 209	
10 REFERANSLAR 213	
TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU 216	

ŞEKİLLER

ŞEKİL 3.1 KOLON-KİRİŞ GEOMETRİK SINIRLAYICILARI -----	33
ŞEKİL 4.1 TSO (TABU ARAMA) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ -----	37
ŞEKİL 4.2 ACO (KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ. -----	37
ŞEKİL 4.3 PSO (PARTİKÜL KÜME OPTİMİZASYONU) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ. -----	38
ŞEKİL 4.4 OFES (EVRİMSEL STRATEJİLER) YAZILIMININ AÇILIŞ EKRANI. -----	38
ŞEKİL 4.5 OFSA (BENZETİMLİ TAVLAMA) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ. -----	39
ŞEKİL 4.6 HSO (HARMONİ ARAMA METODU) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ. -----	39
ŞEKİL 4.7 GAOS (GENETİK ALGORİTMALAR) PROGRAMININ AÇILIŞ EKRANI VE ÇALIŞMASI ANINDA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ. -----	40
ŞEKİL 5.1 224 ELEMANLI DÜZENLİ ÇERÇEVE-----	47
ŞEKİL 5.2 224-ELEMANLI, 24 KATLI ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞ GRAFİĞİ -----	49
ŞEKİL 5.3. ÇERÇEVENİN GÖRÜNÜŞLERİ -----	53
ŞEKİL 5.4 325 ELEMANLI, 5 KATLI ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞ GRAFİĞİ -----	54
ŞEKİL 5.5 568-ELEMANLI UZAY ÇELİK ÇERÇEVENİN GÖRÜNÜŞLERİ -----	57
ŞEKİL 5.6 568 ELEMANLI ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞ GRAFİĞİ -----	58
ŞEKİL 6.1 PARALEL ALGORİTMANIN AKIŞ ŞEMASI -----	62
ŞEKİL 6.2 1040-ELEMANLI ÇELİK UZAY ÇERÇEVE A) 3-BOYUTLU BAKIŞ, B) PLAN BAKIŞI. -----	65
ŞEKİL 6.3 1040-ELEMANLI ÇELİK UZAY ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞ GRAFİĞİ-----	67
ŞEKİL 6.4 1040 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ÇEŞİTLİ KONFİGÜRASYONLAR ALTINDA HESAPLAMA ZAMANLARI -----	68
ŞEKİL 6.5 1040 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ÇEŞİTLİ KONFİGÜRASYONLAR ALTINDA HIZLANMA GRAFİĞİ-----	68
ŞEKİL 6.6 3590-ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE -----	70
ŞEKİL 6.7 3590- ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN FARKLI KAT SEVİYELERİNDEKİ PLAN GÖRÜNÜŞ DETAYLARI A) BÖLÜM 1, B) BÖLÜM 2, C) BÖLÜM 3 -----	71
ŞEKİL 6.8 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN EN İYİ TASARIM- ZAMAN GRAFİĞİ-----	73
ŞEKİL 6.9 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ÇEŞİTLİ KONFİGÜRASYONLAR ALTINDA HESAPLAMA ZAMANLARI -----	74
ŞEKİL 6.10 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ÇEŞİTLİ KONFİGÜRASYONLAR ALTINDA HIZLANMA GRAFİĞİ-----	75

ŞEKİL 6.11 7648-ELEMANLI UZAY ÇELİK ÇERÇEVE-----	77
ŞEKİL 6.12 7648 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN EN İYİ TASARIM- ZAMAN GRAFİĞİ. -----	78
ŞEKİL 6.13 7648 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ÇEŞİTLİ KONFIGÜRASYONLAR ALTINDA HESAPLAMA ZAMANLARI -----	80
ŞEKİL 6.14 7648 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ÇEŞİTLİ KONFIGÜRASYONLAR ALTINDA HIZLANMA GRAFİĞİ-----	80
ŞEKİL 7.1. 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE -----	86
ŞEKİL 7.2 PLAN SEVİYESİNDE 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI -----	87
ŞEKİL 7.3. $V = 90$ MPH TEMEL RÜZGÂR HIZINA SAHİP DURUM İÇİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ -----	91
ŞEKİL 7.4 TEMEL RÜZGAR HIZI $V=90$ MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN KOLON ORYANTASYONUNUN OPTİMAL DÜZENİ-----	94
ŞEKİL 7.5 $V = 105$ MPH TEMEL RÜZGAR HIZINA SAHİP DURUM İÇİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ -----	95
ŞEKİL 7.6 TEMEL RÜZGAR HIZI $V=105$ MPH VE 120 MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN KOLON ORYANTASYONUNUN OPTİMAL DÜZENİ-----	98
ŞEKİL 7.7 $V = 120$ MPH TEMEL RÜZGAR HIZINA SAHİP DURUM İÇİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ -----	99
ŞEKİL 7.8 $V = 150$ MPH TEMEL RÜZGÂR HIZINA SAHİP DURUM İÇİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ -----	102
ŞEKİL 7.9 TEMEL RÜZGAR HIZI $V=150$ MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN KOLON ORYANTASYONUNUN OPTİMAL DÜZENİ-----	104
ŞEKİL 7.10 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE-----	108
ŞEKİL 7.11 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN PLAN SEVİYESİNDEKİ ELEMAN GRUPLANDIRMASI -----	109
ŞEKİL 7.12 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ-----	111
ŞEKİL 7.13 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KOLON ORYANTASYONLARININ OPTİMAL DÜZENİ -----	113
ŞEKİL 7.14 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE -----	117
ŞEKİL 7.15 PLAN SEVİYESİNDE 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI -----	117
ŞEKİL 7.16 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ-----	122
ŞEKİL 7.17 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KOLON ORYANTASYONLARININ OPTİMAL DÜZENİ -----	122
ŞEKİL 7.18 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE-----	126
ŞEKİL 7.19 PLAN SEVİYESİNDE 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI -----	127
ŞEKİL 7.20 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN TASARIM GEÇMİŞİ GRAFİĞİ-----	131

ŞEKİL 7.21 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN KOLON ORYANTASYONLARININ OPTİMAL DÜZENİ -----	131
ŞEKİL 7.22 1230-ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE-----	135
ŞEKİL 7.23 1230 ELEMANLI ÇERÇEVENİN DÜŞEY ÇAPRAZLARI VE MOMENT SERBESTLEYİCİLERİ -----	136
ŞEKİL 7.24 1230-ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN PLAN GÖRÜNÜŞÜNDEN GRUPLANDIRILMASI -----	136
ŞEKİL 7.25 1230 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN MİNİMUM AĞIRLIK-ZAMAN GRAFİĞİ -----	142
ŞEKİL 7.26 1230-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM KOLON ORYANTASYONU -----	142
ŞEKİL 7.27 3590-ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE-----	147
ŞEKİL 7.28 3590-ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN PLAN GÖRÜNÜŞÜNDEN GRUPLANDIRILMASI -----	148
ŞEKİL 7.29 3590 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN MİNİMUM AĞIRLIK-ZAMAN GRAFİĞİ -----	160
ŞEKİL 7.30 3590-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM KOLON ORYANTASYONU -----	161
ŞEKİL 8.1 MODEL A (ÇAPRAZSIZ SİSTEM)-----	164
ŞEKİL 8.2 MODEL B -----	165
ŞEKİL 8.4 MODEL D -----	165
ŞEKİL 8.6 MODEL F -----	166
ŞEKİL 8.8 MODEL H -----	166
ŞEKİL 8.10 MODEL J -----	167
ŞEKİL 8.12 MODEL L -----	167
ŞEKİL 8.14 RİJİT KİRİŞ-KOLON BAĞLANTISI -----	174
ŞEKİL 8.15 MAFSALLI KİRİŞ-KOLON BAĞLANTILARI-----	174
ŞEKİL 8.16 BAĞLANTI YERLERİ-----	175
ŞEKİL 8.17 MODELLERİN TİPİK PLAN GÖRÜNÜŞLERİ -----	176
ŞEKİL 8.18 MODEL B’NİN 3-D GÖRÜNÜŞÜ-----	177
ŞEKİL 8.19 NORMALİZE EDİLMİŞ AĞIRLIK VS. MODEL (10-KATLI)-----	195
ŞEKİL 8.20 NORMALİZE EDİLMİŞ AĞIRLIK VS. MODEL (20-KATLI)-----	196
ŞEKİL 8.21 NORMALİZE EDİLMİŞ AĞIRLIK VS. MODEL (30-KATLI)-----	197
ŞEKİL 8.22 NORMALİZE EDİLMİŞ AĞIRLIK VS. KAT SAYILARI (MODEL-A ‘DAN MODEL-G ‘YE) -----	198
ŞEKİL 8.23 NORMALİZE EDİLMİŞ AĞIRLIK VS. KAT SAYILARI (MODEL-H ‘DAN MODEL-N ‘YE) -----	199
ŞEKİL 8.24 MODELLERİN MALİYETLERİ (10-KATLI)-----	200
ŞEKİL 8.25 MODELLERİN MALİYETLERİ (20-KATLI)-----	201
ŞEKİL 8.26 MODELLERİN MALİYETLERİ (30-KATLI)-----	202

TABLÖLAR

TABLO 5.1 . 224-ELEMANLI 24 KATLI ÇERÇEVE İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ	46
TABLO 5.2 224-ELEMANLI 24 KATLI ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE BULUNAN HAZIR KESİTLERİ	48
TABLO 5.3. 325 ELEMANLI 5 KATLI ÇERÇEVE İÇİN TASARIM SİSMİK KUVVETLERİ.....	51
TABLO 5.4 325 ELEMANLI 5 KATLI ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE BULUNAN HAZIR KESİTLERİ	53
TABLO 5.5 568-ELEMANLI 10 KATLI ÇERÇEVE İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ.....	57
TABLO 5.6 568 ELEMANLI UZAY ÇELİK ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE BULUNAN HAZIR KESİTLERİ	59
TABLO 6.1 1040-ELEMANLI ÇELİK UZAY ÇERÇEVENİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI.....	66
TABLO 6.2 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM TASARIM	72
TABLO 6.3 7648 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM TASARIM	79
TABLO 7.1 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI.....	87
TABLO 7.2 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİ ÜZERİNDEKİ DİKEY YÜKLER.....	89
TABLO 7.3 90MPH VE 105MPH (KN/M, LB/FT) RÜZGAR HIZI ALTINDA RÜZGAR YÜKÜ DEĞERLERİ.....	89
TABLO 7.4 120MPH VE 150MPH (KN/M, LB/FT) RÜZGAR HIZI ALTINDA RÜZGAR YÜKÜ DEĞERLERİ.....	90
TABLO 7.5 TEMEL RÜZGAR HIZI V=90 MPH OLAN DURUM İÇİN SEKİZ ANALİZDE 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN MİNİMUM TASARIM AĞIRLIKLARI VE HACİMLERİ.....	92
TABLO 7.6 TEMEL RÜZGÂR HIZI V=90 MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	92
TABLO 7.7 TEMEL RÜZGAR HIZI V=105 MPH OLAN DURUM İÇİN SEKİZ ANALİZDE 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN MİNİMUM TASARIM AĞIRLIKLARI VE HACİMLERİ.....	95
TABLO 7.8 TEMEL RÜZGAR HIZI V=105 MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	96
TABLO 7.9 TEMEL RÜZGAR HIZI V=120 MPH OLAN DURUM İÇİN SEKİZ ANALİZDE 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN MİNİMUM TASARIM AĞIRLIKLARI VE HACİMLERİ.....	99
TABLO 7.10 TEMEL RÜZGÂR HIZI V=120 MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	100
TABLO 7.11 TEMEL RÜZGÂR HIZI V=150 MPH OLAN DURUM İÇİN SEKİZ ANALİZDE 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN MİNİMUM TASARIM AĞIRLIKLARI VE HACİMLERİ... 	102
TABLO 7.12 TEMEL RÜZGÂR HIZI V=150 MPH OLAN DURUM İÇİN 960 ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	103
TABLO 7.13 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI.....	106

TABLO 7.14	568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİ ÜZERİNDEKİ DİKEY YÜKLER.....	110
TABLO 7.15	105MPH (KN/M, LB/FT) RÜZGAR HIZI ALTINDA RÜZGAR YÜKÜ DEĞERLERİ	110
TABLO 7.16	568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN SEKİZ ANALİZDE ELDE EDİLEN AĞIRLIK VE HACİMLER.....	111
TABLO 7.17	568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	112
TABLO 7.18	132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI.....	118
TABLO 7.19	132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİ ÜZERİNE GELEN DİKEY YÜKLER	118
TABLO 7.20	132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KATLARINA UYGULANAN DEPREM YÜKLERİ	119
TABLO 7.21	132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN SEKİZ ANALİZDE ELDE EDİLEN AĞIRLIK VE HACİMLER.....	119
TABLO 7.22	132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	121
TABLO 7.23	325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN ELEMAN GRUPLANDIRMASI.....	127
TABLO 7.24	325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİ ÜZERİNE GELEN DİKEY YÜKLER .	128
TABLO 7.25	325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KATLARINA UYGULANAN DEPREM YÜKLERİ	128
TABLO 7.26	325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN SEKİZ ANALİZDE ELDE EDİLEN AĞIRLIK VE HACİMLER.....	129
TABLO 7.27	325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE İÇİN ELDE EDİLEN EN İYİ TASARIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	130
TABLO 7.28	1230-ELEMANLI ÇERÇEVENİN GRUPLANDIRILMASI	137
TABLO 7.29	1230 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİ ÜZERİNDEKİ DÜŞEY YÜKLEME .	138
TABLO 7.30	105MPH (İN KN/M,LB/FT) RÜZGAR HIZI ALTINDAKİ RÜZGAR YÜKÜ DEĞERLERİ ..	138
TABLO 7.31	SEKİZ DENEME SONUNDA 1230-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN BULUNAN MİNİMUM AĞIRLIK VE HACİMLER.....	139
TABLO 7.32	1230-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM TASARIMLARIN KIYASLAMASI	140
TABLO 7.33	3590-ELEMANLI ÇERÇEVENİN GRUPLANDIRMASI.....	149
TABLO 7.34	3590 ELEMANLI ÇERÇEVENİN KİRİŞLERİNİN DÜŞEY YÜKLEMESİ	153
TABLO 7.35	105 MPH (KN/M,LB/FT) RÜZGÂR HIZI ALTINDAKİ RÜZGÂR YÜKÜ DEĞERLERİ	153
TABLO 7.36	SEKİZ DENEME SONUNDA 3590-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN BULUNAN MİNİMUM AĞIRLIK VE HACİMLER.....	155
TABLO 7.37	3590-ELEMANLI ÇERÇEVE İÇİN OPTİMUM TASARIMLARIN KIYASLAMASI	156
TABLO 8.1	BAĞLANTI MALİYETLERİ	175
TABLO 8.2	ÇERÇEVELERİN YERÇEKİMİ YÜKLERİ	178
TABLO 8.3	X YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (30-KATLI MODELLER).....	179
TABLO 8.4	X YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (20-KATLI MODELLER).....	180

TABLO 8.5 X YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (10-KATLI MODELLER).....	181
TABLO 8.6 Y YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (30-KATLI MODELLER).....	182
TABLO 8.7 Y YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (20-KATLI MODELLER).....	183
TABLO 8.8 Y YÖNÜNDEKİ RÜZGARLAR İÇİN RÜZGAR YÜKLERİ (10-KATLI MODELLER).....	184
TABLO 8.9 10-KATLI MODEL-G İÇİN ELEMAN GRUPLANDIRMASININ DETAYLARI	185
TABLO 8.10 10-KATLI MODEL-G İÇİN ÇELİK KESİTLER	186
TABLO 8.11 20-KATLI MODEL-E İÇİN ELEMAN GRUPLANDIRMASININ DETAYLARI.....	187
TABLO 8.12 20-KATLI MODEL-E İÇİN ÇELİK KESİTLER.....	188
TABLO 8.13 30-KATLI MODEL-D İÇİN ELEMAN GRUPLANDIRMASININ DETAYLARI	189
TABLO 8.14 30-KATLI MODEL-D İÇİN ÇELİK KESİTLER	190
TABLO 8.15 MODELLERİN OPTİMUM AĞIRLIKLARI.....	191
TABLO 8.16 10-KATLI MODELLERİN MALİYETLERİ	192
TABLO 8.17 20-KATLI MODELLERİN MALİYETLERİ	193
TABLO 8.18 30-KATLI MODELLERİN MALİYETLERİ	194

ÖZET

Ülkemizde mühendislik uygulamalarında yapı optimizasyonu hemen hemen hiç kullanılmamaktadır. Halbuki, yapı optimizasyonu ile elemanları hazır profil listelerinden seçilen çelik yapıların en düşük ağırlıkla tasarlanması, dolayısıyla en düşük maliyetle inşa edilmesi mümkündür. Bu projede, çelik taşıyıcı sistemli binaların yapı optimizasyonu kullanılarak en ekonomik olarak tasarlanabilmeleri ve bunun sonucu olarak da ülkemizdeki mühendislik uygulamalarındaki kullanımlarının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, çelik taşıyıcı sistemli binalar üç boyutlu olarak modellenerek optimum boyutlandırma problemi ülkemiz şartnamelerine göre formüle edilmiş ve elde edilen ayrık değişkenli optimizasyon probleminin çözümü, son yıllarda geliştirilmiş olan genetik algoritmalar (genetic algorithms), evrimsel stratejiler (evolution strategies), tabu arama (tabu search), harmoni arama (harmony search), karınca koloni (ant colony), benzetimli tavlama (simulated annealing) ve partikül küme (particle swarm) olmak üzere toplam yedi adet stokastik optimizasyon tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Yapıların optimum tasarımları kapsamında, yapı elemanlarının kesitleri ve kolon elemanlarının doğrultuları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. Yapılara etkiyen yatay ve düşey yükler (rüzgar, deprem, ölü, hareketli ve kar yükleri) TS500 ve UBC97 şartnamelerine göre tanımlanmış, ve yine bu sistemlerin tasarım kriterleri için TS 648 (Building Code for Steel Structures) ve AISC–ASD (American Institute of Steel Construction, Allowable Stress Design) şartnamelerinde öngörülen hükümler esas alınmıştır.

Aplikasyonu yapılmış ve/veya yapılacak çeşitli statik projeler, araştırma kapsamında geliştirilen bilgisayar yazılımları ile tekrar tasarlanarak bu yapılar için optimum tasarım ile sağlanabilecek düşük maliyet miktarı sayısal olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda çelik taşıyıcı sistemli binaların düşük maliyetle tasarlanmaları için yapı elemanlarının seçimi ve tasarımlarında etkin olan tahkiklerin belirlenmesi gibi pratik uygulamalarda faydalanılabilecek bilgiler üretilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen tüm çalışmalar pratik mühendislik uygulamalarında hizmet veren tasarım ofisleriyle koordinasyonlu olarak gerçekleştirilmiş ve ülkemizde şu ana kadar sadece akademik boyutlarda çalışılan yapı optimizasyonunun pratik uygulamalara da kazandırılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik Taşıyıcı Sistemli Yapılar, Yapı Optimizasyonu, Genetik Algoritmalar, Evrimsel Stratejiler, Tabu Arama, Harmoni Arama, Karınca Koloni, Benzetimli Tavlama, Partikül Küme

ABSTRACT

In engineering practices in Turkey structural optimization is barely used. However, by virtue of structural optimization it is seemingly possible to minimize the design and construction cost of steel structures, in which load-carrying members are chosen from discrete profile lists. In the proposed project, the objective is to design steel buildings in the most economic manner using structural optimization and thereby to promote the use of these systems in engineering practices in Turkey. In this framework, steel buildings has modeled as three-dimensional structures; the optimum sizing problem has formulated as per the specifications in Turkey, and the solution to this problem with discrete design variables has obtained through seven recently developed stochastic optimization techniques, namely genetic algorithms, evolution strategies, tabu search, harmony search, ant colony, simulated annealing and particle swarm. In the context of optimum design of structures, cross-sectional areas of all members and directions of column members has taken as design variables. Horizontal and vertical loads that act on the buildings (wind, earthquake, dead, live and snow loads) has specified in line with TS500 and UBC97 specifications and the design considerations will be based on the provisions laid down in TS 648 (Building Code for Steel Structures) and AISC–ASD (American Institute of Steel Construction, Allowable Stress Design) specifications.

Various static projects applied and/or to be applied has re-designed via the computer softwares that has developed in the scope of the project and the amount of (low) cost that can be achieved for these structures through optimum design has numerically determined. In the meantime, information useful in practice, such as identifying dominant constraints governing the design of these systems, and selection of structural members for an economical design, etc., has also produced. All work in the framework of the Project has undertaken in coordination with design offices serving in the field of practical engineering applications; and a contribution has made to put into implementation the issue of optimization, which has so far been taken up only academically in Turkey.

Keywords: Steel Structures, Structural Optimization, Genetic Algorithms, Evolution Strategies, Tabu Search, Harmony Search, Ant Colony, Simulated Annealing, Particle Swarm

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çelik taşıyıcı sistemler betonarme sistemlere göre belirli üstünlükler sergilerler. Yüksek dayanımları ve tasarımlarının hafif olması sebebiyle asgari düzeyde deprem yüklerine maruz kalmaları bu üstünlüklerin başında gelir. Çeliğin malzeme özelliği olarak çekme ve basınç mukavemetlerinin eşit olması itibarı ile çekme mukavemeti daha düşük malzemelerle yapılamayan sistemler için iyi bir çözüm yolu olarak düşünülebilir.

Şantiyede ya da atölyede imalatı gerçekleştirilen çelik elemanların montajı hızlıdır. Betonarme yapı sistemlerinin aksine, sıra dışı hava koşulları haricinde her şartta montajları yapılabilir. Bu nedenle inşaat süreleri kısadır. Yapının herhangi bir neden ile sökülmesi gerektiğinde bu işlem hızla yapılabilmekte ve buna ek olarak sökülen çelik sistem başka bir yerde çok az kayıpla tekrar aynı malzemelerle inşa edilebilmektedir. Büyük açıklıkların olduğu sistemlerde de betonarme yapı malzemeleri ile geçilemeyen mesafeler çelik taşıyıcı sistemlerle rahatlıkla geçilebilmektedir. Çelik yapı elemanlarının kalitesi sürekli denetim altındadır. Fabrika koşullarında standartlara uygun ölçü ve değerlerde üretilirler. Homojen ve izotropik bir malzeme olduğundan kendisinden beklenen davranışı gösterir ve bundan dolayı statik hesaplamalardaki hata payı çok düşük olur.

Çelik taşıyıcı sistemli binalar, mühendislik uygulamaları yönünden gelişmiş ülkelerin yapı sektöründe oldukça fazla yer bulmalarına karşın ülkemizde yüksek maliyetleri nedeniyle betonarme sistemli binalara oranla çok daha az sayıda uygulanma şansı bulmuşlardır. İstatistiksel olarak çelik yapıların bazı gelişmiş ülkelerdeki sektör payları Avrupa’da % 50, Amerika’da % 70, Japonya’da ise % 80 civarında iken, ülkemizde bu oran sadece %5 civarındadır. Şüphesiz bu sistemlerin daha ekonomik olarak boyutlandırılıp inşa edilebilmesi, sismik performansları da oldukça yüksek olan bu yapıların ülkemiz gibi aktif deprem riski taşıyan bölgelerde yaygınlaşmasına katkı sağlayacak ve böylece deprem sonucu oluşacak hasarlar minimum seviyeye indirilecektir.

Çok katlı binalar ve geniş alanları kaplayan tek katmanlı veya çok katmanlı kubbeler ve ızgara yapılar gibi büyük ölçekli inşaat mühendisliği sistemlerinin optimum tasarımı yapısal

tasarım optimizasyonu için en zor alanlardan biridir. Büyük ölçekli yapıların tasarımındaki zorluk sadece optimum çözümün birçok tasarım değişkeni tarafından hemen hemen fiziksel olarak sınırsız olan tasarım uzayında aranması değil, aynı zamanda kabul edilebilir çözümlere ulaşmak için aşırı bir hesaplama zamanına da ihtiyaç duyulmasıdır. Eğer optimum çözümün gerçek değeri vurgulanırsa işler daha da karışık bir hal alır ki bu durumda tasarım şartnamelerindeki koşullar uygulanmalı, yapı elemanları yönetmeliklerde bulunan hazır ayırık çelik kesit tablolarından seçilmeli ve çeşitli yapı elemanları arasındaki geometrik sınırlayıcılar dikkate alınmalıdır.

Hesaplamalı yapısal mekanik alanında karşılaşılan değişik tiplerdeki problemleri çözmek için optimizasyon literatüründe çok sayıda teknik kullanılmaktadır. Bu tekniklerin hesaplama verimlilikleri üzerinde yapılan uzun araştırmalar göstermiştir ki herhangi bir tekniğin performansı, boyutluluk, çok modellilik, farklılık, süreklilik gibi faktörlerin fazla sayıda olmasından etkilenmektedir ve her teknik optimum çözümü bulmadaki sağlamlığının haricinde bazı zayıflıklara sahiptirler. Örneğin, mühendislik optimizasyon uygulamalarında uzun süredir kullanılan ve iyi bilinen matematiksel programlama teknikleri yakınsama hızlarına göre tanımlanırlar. Bununla birlikte, değişim tabanlı arama ile ilintili olarak global optimuma zayıf yakınsama güvenilirliği bu tekniklerin en büyük noksanlığıdır. Son zamanlarda yeni bir grup teknik, nümerik arama algoritmalarının ortaya çıkmasına ilham kaynağı oldukları kadar ayırık ve global optimizasyon için de sağlam ve hünerli metotlardır. Bu teknikler arasında yapı optimizasyonu için en çok kullanılanları; ayırık evrimsel stratejiler (discrete evolutionary strategies), genetik algoritmalar (genetic algorithms), harmoni arama (harmony search), benzetimli tavlama (simulated annealing), tabu arama (tabu search), karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization) ve partikül küme optimizasyonu (particle swarm optimization) teknikleridir. Bu meta-bulgusal arama algoritmaları, arama boyunca değişim bilgisine çok fazla bağlı olmadıkları için global optimumu bulmada artan bir taahhüt ile ortaya çıkarlar. Fakat, optimuma doğru yavaş bir yakınsama hızları ve aşırı derecede fonksiyon değerlendirmelerine ihtiyaç duymaları bu tekniklerin arama özelliklerinin dezavantajı olarak merak uyandırır. Özellikle büyük ölçekli optimum tasarımına ihtiyaç duyulması durumunda, yapısal sistemlerin hesaplanmalarındaki hesap zamanının yoğun olarak artması, bu tekniklerin aşırı olarak uygulanmalarını engelleyici bir özellik olmaktadır.

Araştırma süreci boyunca örneklendirilen tasarımların geleneksel yapı analizleri, optimizasyon algoritmasının toplam hesaplama süresinin %85-95'ini tüketir. Meta-bulgusal arama tekniklerinin bu eksikliklerini gidermede bir çare zaman yönünden oldukça pahalı olan gerçek yapısal analiz safhasını cevap yüzey analizi veya yapay sinir ağları gibi uygun maliyetli yaklaşım teknikleri ile değiştirmektir. Dolayısıyla, bu metotlar cüzi bir hesaplama gayreti ile gerçek analizin masraflı olmayan ve kabul edilebilir yaklaşımlarını yapılandırma niyetindedirler. Buna rağmen, çözüm yüzey analizinin az sayıda tasarım değişkenine sahip küçük problemler için oldukça sınırlı olmasından ve yapay sinir ağlarının eğitim veri seti oluşturmak için önemli miktarda belirgin hesaplama yapmasından başka, yaklaşım teknikleri ile ilintili temel problem, çözüm algoritmasının optimum olmayan veya mümkün olmayan çözümlere yönelmesine kolayca sebep olabilecek tahmin kesinliğidir.

Bahsedilen problem için ikinci ve daha etkili bir çözüm de dağıtılmış hesaplama veya paralel hesaplama adı verilen yüksek performanslı hesaplama tekniklerinden faydalanmaktır. Buradaki fikir algoritmanın iş yükünü, çok işlemcili bir bilgisayara dağıtmak veya ana kayıt-bağımlı birim (master-slave) konfigürasyonu denen yerel alan ağı tabanı ile birbirlerine SMP bağlı bilgisayar kümelerine dağıtmaktır. Bu konfigürasyonda belirli sayıdaki bağımlı birim işlemcisi çoklu görev döngüsünü işletirken, tek bir ana kayıt işlemcisi başlıca algoritmanın sıralı kodlarının işletilmesinden ve ağıdaki tüm koordinasyondan, iletişimden ve senkronizeden sorumludur. Paralel hesaplamanın bu özelliği bir tasarım popülasyonu kullandığından meta-bulgusal arama teknikleri için çok değerlidir, çünkü bireysel tasarımların sınırlayıcı değerlendirmeleri ve çözüm hesaplamaları herhangi bir ara işlemci bağlantısı gerektirmez ve bu yüzden çeşitli işlemciler tarafından eş zamanlı olarak uygulanabilir. Bu bakış açısından, paralel hesaplama büyük inşaat mühendisliği sistemlerinde optimum çözümü doğru şekilde ve zamanında elde etmede mükemmel bir imkan sağlar.

Bu projede, çelik taşıyıcı sistemli binaların yapı optimizasyonu kullanılarak en ekonomik olarak tasarlanabilmeleri ve bunun sonucu olarak da ülkemizdeki mühendislik uygulamalarındaki kullanımlarının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, ilk aşama olarak çelik taşıyıcı sistemli binalar üç boyutlu olarak modellenmiş optimum boyutlandırma problemi ülkemiz şartnamelerine göre formüle edilmiştir. Yapıların optimum tasarımları kapsamında, yapı elemanlarının kesitleri ve kolon elemanlarının doğrultuları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. Yapılara etkiyen yatay ve düşey yükler (rüzgar,

deprem, ölü, hareketli ve kar yükleri) TS500 ve UBC97 şartnamelerine göre tanımlanmış ve yine bu sistemlerin tasarım kriterleri için TS 648 (Building Code for Steel Structures) ve AISC–ASD (American Institute of Steel Construction, Allowable Stress Design) şartnamelerinde öngörülen hükümler esas alınmıştır. Çelik yapıların optimum çözümünü yapmak için geliştirilen algoritmaların etkinlikleri üç adet tasarım örneği ile test edilmiştir. Bu tasarım örnekleri için kullanılan yapı modelleri; 224 elemanlı 24 katlı düzlem çerçeve, 325 elemanlı 5 katlı uzay çerçeve ve 568 elemanlı 10 katlı uzay çerçevedir.

Buna ek olarak, ayırık evrimsel stratejiler tekniği kullanılarak daha büyük yapı sistemlerinin daha ekonomik ve kısa süreli çözümleri için paralel optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çözüm algoritmasının bir tek işlemci ile uygulanmasına izin veren seri çözümü ilk olarak Borland Delphi kaynak kodu ile derlenmiştir. Sonra algoritmanın ana kayıt-bağımlı birim (master-slave) konfigürasyonu tabanlı paralel versiyonu geliştirilmiştir ki burada bir tek bilgisayarın çoklu işlemcisi veya yerel alan ağı (LAN) ile birbirlerine bağlı bilgisayar kümelerinden oluşabilecek paralel hesaplama sistemlerini yönetmek için paralel işlemenin ileri teknikleri ile sıralı kod modifiye edilmiş ve yeniden düzenlenmiştir. Algoritma için üretilmiş paralel hesaplama ortamının eşsiz olması, FORTRAN ve C++’dan farklı olarak Delphi’nin doğal olarak herhangi bir MPI (Message Passing Interface) uygulaması ile desteklenmemesi noktasında yatar. Algoritmada MPI uygulamak için Lazarus Projesi tarafından sağlanan MPICH2 için özel Pascal başlıkları algoritmanın gereksinimlerine göre gözden geçirilmiştir. Çok katlı çelik binaların optimum tasarımında paralel algoritmanın etkinliği üç örnek kullanılarak denenmiş ve ölçülmüştür. Bu örnekler, 60 eleman grubuna sahip 1040 elemanlı bir çelik uzay çerçeve, 109 eleman grubuna sahip 3590 elemanlı çelik uzay çerçeve ve 198 eleman grubuna sahip 7648 elemanlı çelik uzay çerçevedir. Bu çerçeveler için optimum tasarımları elde etmek için toplamda 32 işlemcili bilgisayar kümesi kullanılmıştır. Her örnekte uygulanan işlemci sayısına karşı paralel hesaplama sisteminin performansı incelenmiştir.

Çelik yapıların başlıca elemanları kolon ve kirişlerdir. Bu elemanların oryantasyonları yapı sisteminin ağırlığında önemli bir rol oynamaktadır. Her bir eleman grubunun güçlü eksenlerinin uygulanan kuvvetlere karşı koyabilmesi için doğru pozisyonda yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Uzay çelik çerçevelerin tasarımında kirişlerin güçlü eksenleri asıl eğilme eksenine ile çakışacak şekilde yerleştirilirken kolonlar tasarımcının önsezilerine göre

herhangi bir yönde yerleştirilir. Literatürdeki çelik yapıların optimum tasarım işlemi, yapıdaki kolon elemanların oryantasyonlarının başlangıçta belirlenen ve optimizasyon işlemi boyunca sabit tutulan bir yapısal eleman boyutlandırması ile yapılmaktadır. Bu proje kapsamında kolon oryantasyonlarının çelik çerçevelerin minimum ağırlık tasarımına etkisi ayrık evrimsel stratejiler metodu ile oluşturulan bir algoritma tarafından araştırılmıştır. Bu algorithmada tasarım değişkenleri olarak en kesit boyutları (boyut değişkenleri) ve kolon elemanların oryantasyonları (oryantasyon değişkenleri) alınmıştır. Ortaya çıkan algoritma, tasarım optimizasyonunun yapıldığı yazılım programı OFES'te kullanılmıştır. Bu program, pratikte yer alan uygulamalarda TS-648 ve AISC-ASD standartlarına göre çözümler üretebilmektedir. Kolon oryantasyonunun etkisi, altı örnekle pratik tasarım esasları doğrultusunda sayısal olarak çalışılmıştır. Bu örneklerde ilk olarak, kolon doğrultuları önceden belirlenmiş ve sabit olarak bırakılmış çelik yapılar, sadece boyut değişkenleri dikkate alınarak boyutlandırılmıştır. Daha sonra, bu yapıların optimum ağırlık tasarımları hem boyut hem de doğrultu tasarım değişkenlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kolon doğrultularının tasarım değişkenlerine eklenmesi, sadece boyut değişkenlerinin kullanıldığı durumlara oranla daha hafif tasarımlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Çok katlı çelik yapıların tasarımındaki en önemli nokta yapının, rüzgar yüklerine dayanabilmesi için, yeterli yatay kararlılığa sahip olmasıdır. Binalardaki yatay ötelenmeyi belirli sınırlar içinde tutmak için farklı yollar mevcuttur. Birinci yol, bütün kolon kiriş bağlantılarını rijit yapmaktır. İkinci yöntem bu yapılara bir de yatay çapraz elemanları monte etmektir. Üçüncü yol kolon kiriş bağlantılarını mafsallı yapmak ve yatay çapraz elemanları kullanmaktır. Son yol ise hem rijit hem de mafsallı bağlantıları kullanmak ve yatay çapraz elemanları kullanmaktır.

Birçok çapraz modeli mevcuttur ve tasarımcı bunların arasından en uygun olanını seçmelidir. 10, 20 ve 30 katlı üç farklı yapı, öngörülen 12 adet farklı çapraz tipi altında eleman ağırlıkları minimum olacak şekilde optimum boyutlandırma işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra, farklı çapraz tipleri için elde edilen optimum tasarımların maliyet analizleri yapılmış ve böylece en ekonomik model tespit edilmiştir. Optimum boyutlandırma yöntemi olarak, evrimsel algoritmalar üyesi olan, ayrık evrimsel stratejiler kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

2.1 STOKASTİK OPTİMİZASYON METOTLARI

Son dönemlere kadar yapı optimizasyonu da dâhil olmak üzere çeşitli mühendislik optimizasyonu uygulamalarında, geleneksel olarak nitelendirilen *Matematiksel Programlama* (MP) ve *Optimumluk Kriteri* (OK) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktaydı. Ancak bu metotların tasarım değişkenlerini sürekli kabul etmesi esasına dayanan türeve bağlı matematiksel çözüm algoritmaları, gerek metotların büyük yapı sistemlerine uygulanımını güçleştirmekte ve gerekse önceden belirlenen hazır kesitlere göre boyutlandırma gerektiren mühendislik yapılarının gerçeğe uygun tasarımları için ideal sonuç oluşturmamaktaydı. 1990'li yılların başında Goldberg [Goldberg, 1989] tarafından formülize edilen genetik algoritmalar mühendislik optimizasyonunda karşılaşılan bu sorunların üstesinden gelebilecek bir metot olarak ortaya çıkmıştır. Doğadaki evrimsel kavramların bilgisayar ortamında simüle edilmesi esasına dayalı olarak işleyen bu bulgusal (heuristic) ve stokastik yöntem, gerek ayrık çözüm üretebilmesi nedeniyle gerekse başlangıç noktasına bakılmaksızın global optimuma yakın çözümler yakalayabilmesinden dolayı tüm disiplinler tarafından büyük bir ilgiyle karşılanmıştır. Genetik algoritmalarla kazanılan bu başarı araştırmacıları, benzetimli tavlama, tabu arama ve evrimsel stratejiler gibi diğer stokastik metotları irdelemeye yönlendirmiştir. Ayrıca, son birkaç sene içerisinde karınca koloni, harmoni arama ve partikül küme isimleri altında değişik nitelikli stokastik optimizasyon metotları geliştirilmiştir. Genel olarak stokastik optimizasyon yöntemleri, geleneksel metotlara göre şu ayrıcalıkları ve üstünlükleri gösterirler:

1. Bulgusal metotlardır. Algoritmaları doğal olay veya oluşumların gözlenmesi ve optimizasyon ile ilişkilendirilmesi ile kurulmuştur. Örneğin, benzetimli tavlama metodunda termodinamikte kullanılan tavlama yöntemi ile maddelerin minimum enerji seviyesine

ulaştırılması olgusu simüle edilmiştir. Karınca koloni tekniğinde karıncaların yiyecek ve yuvaları arasındaki en kısa yolu bulma fenomeninden esinlenilmiştir.

2. Türev gibi arama işlemini yerel optimumda sonlandıracak matematiksel algoritmalarından kaçındıklarından, optimum çözümü yakalama güvenilirlikleri daha yüksektir.

3. Tasarım değişkenlerinin sürekli olması zorunluluğu yoktur; ayrık (discrete) nitelikli tasarım değişkenleri ile çalıştırılabilirler. Özellikle bu husus yapı optimizasyonu açısından daha bir önem arz etmektedir. Örneğin, çelik yapıların tasarımlarında yapı elemanları belirli hazır kesitlerden seçilmelidir, yine betonarme yapı tasarımında donatı çubuğu sayısı tamsayı olmalıdır. Tüm bunlar optimum çözümün pratik uygulanabilirliği açısından vazgeçilmezdir.

Bu projede çelik taşıyıcı sistemli binaların en ekonomik tasarımları, benzetimli tavlama (simulated annealing), harmoni arama (harmony search), genetik algoritmalar (genetic algorithms), tabu arama (tabu search), karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization), partikül küme optimizasyonu (particle swarm optimization) ve ayrık evrimsel stratejiler (discrete evolutionary strategies) olmak üzere yedi adet stokastik optimizasyon metodu kullanılarak araştırılmıştır.

2.1.1 BENZETİMLİ TAVLAMA

Benzetimli Tavlama (BT) yönteminin arkasında uzanan mantık termodinamikte uygulanan fiziksel sistemlerin tavlama işlemidir. Bu işlemde, başlangıçta yüksek enerji durumunda bulunan bir fiziksel sistem minimum enerji seviyesine ulaşana kadar kademeli olarak soğutulur. Kirkpatrick [Kirkpatrick et. al., 1983] ve Cerny [Cerny, 1985] bir fiziksel sistemin enerji seviyesinin minimum yapılması ve amaç fonksiyonunun maliyetinin düşürülmesi arasında direkt bir benzerlik kurularak bu işlemin optimizasyon problemlerinin çözümünü taklit edebileceğine öncülük etmişlerdir. Standart BT algoritmasının adımları aşağıda gösterildiği gibi özetlenebilir;

Birinci adım. Soğutma Programı

İlk adım uygun bir soğutma programının ayarlanmasıdır. Başlangıç kabul olasılığı (P_s), sonuç kabul olasılığı (P_f) ve soğutma döngü sayısı (N_c) için uygun değerler seçildikten sonra soğutma program parametreleri şu şekilde hesaplanabilir;

$$T_s = -\frac{1}{\ln(P_s)}, \quad T_f = -\frac{1}{\ln(P_f)}, \quad \eta = \left[\frac{\ln(P_s)}{\ln(P_f)} \right]^{1/N_c - 1} \quad (1)$$

Denklem (1)' de, T_s , T_f ve η sırasıyla başlangıç sıcaklığı, son sıcaklık ve soğutma faktörünü temsil ederler. Başlangıç sıcaklığı geçerli sıcaklık olarak tanımlanmıştır ($T=T_s$).

İkinci adım. Başlangıç Tasarımı:

Sonraki adım bir başlangıç tasarımının üretilmesidir. Başlangıç tasarımı, her bir tasarım değişkeninin profil listelerinden seçilmiş olan çelik kesitlerin sıra numaralarını temsil edecek şekilde rastgele üretilir. Bu tasarım optimizasyon işleminin geçerli tasarımı olarak tanımlanır. Yapının analizi, geçerli tasarımda seçilmiş olan standart çelik kesitlerle yapılır ve kuvvet ve deformasyon tepkileri uygulanan yükler altında elde edilir. Eğer tasarım problem sınırlayıcılarının bazılarını ihlal ederse bu tasarım cezalandırılır ve bu tasarımın amaç fonksiyonunun değeri (ϕ_c) aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$\phi = W \left[1 + \alpha \sum_{i=1}^{Ng} g_i \right] \quad (2)$$

Bu denklemden, ϕ sınırlandırılmış amaç fonksiyonunu, g_i i 'nci sınırlayıcıyı ve α bir bütün olarak ceza yoğunluğunu ayarlamak için kullanılan ceza katsayısını temsil eder. Bu parametreler $\alpha=1$ 'in uygun statik değeri için ayarlanır.

Üçüncü adım. Aday Tasarımların Üretilmesi:

Tasarım değişkenlerinin sayısına eşit sayıda olan aday tasarımlar, verilen soğutma döngüsünde geçerli tasarım civarında üretilirler. Bu, şu şekilde gerçekleştirilir; (i) her tasarım değişkeni rastgele sırada sadece bir kere seçilir, (ii) seçilen değişkene (I_i) önceden tanımlanmış komşuluk bölgesinde küçük öteleme verilir ve (iii) son olarak, aday tasarım, diğer tüm tasarımlar güncel tasarım içinde aynı kalacak şekilde, ötelenmiş (I_i') olarak kabul edilerek üretilir. Sadece bir tasarım değişkenine göre aday tasarım geçerli olandan farklılık gösterir.

$$I_i' = I_i \pm z_i \quad (3)$$

Burada, z_i , i 'nci tasarım değişkenine uygulanan ötelemenin miktarıdır ve tamsayı komşuluk bölgesi $[1, n_w]$ içinden rastgele seçilir (n_w komşuluk bölgesinin genişliğidir).

Dördüncü adım. Aday Tasarımın Değerlendirilmesi ve Metropolis Testi:

Bir aday tasarım üretildiği zaman, bu tasarımın amaç fonksiyonu (ϕ_a) denklem (2)'ye göre hesaplanır ve güncel tasarımla yaracak şekilde ayarlanır. Eğer aday daha iyi bir çözüm sağlarsa ($\Delta\phi = \phi_a - \phi_c \leq 0$) otomatik olarak Kabul edilir ve güncel tasarımla yer değişir. Aksi takdirde, içinde zayıf bir tasarımın kabul olasılığını (P) barındıran Metropolis teste kazananı belirlemek için başvurulur.

$$P = \exp(-\Delta\phi / KT) \quad (4)$$

Bu denklemde, K Boltzman parametresidir ve $\Delta\phi$ değerlerinin çalışan ortalamaları olarak ayarlanır. Bu yüzden zayıf bir aday modellendiğinde bu parametre güncellenmelidir. $K = \Delta\phi_{ave}$ olduğu için, ortalama zayıf bir adayın Kabul edilme olasılığının $\exp(-1/T)$ fonksiyonu ile tanımlanan teorik bir eğriyi izlediği kabul edilir. Fakat pratikte, denklem (4) ile hesaplanan zayıf adayın kabul olasılığının teorik olarak gösterilenden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu eksikliği gidermek için denklem (4) yeniden formülize edilmiştir. Bu formülde, düzeltme faktörü ($0.9 \leq \phi \leq 1.1$) ortaya konulmuştur (Denklem 5 – 6).

$$P = \varphi \cdot \exp(-\Delta\phi / KT) \quad (5)$$

$$\varphi = \left(\sqrt[3]{\bar{P}_t / \bar{P}_p} \right)^{(k-1)}, \quad 0.9 \leq \varphi \leq 1.1 \quad (6)$$

Denklem 6 'da, $(\bar{P}_t)^{(k-1)}$ ve $(\bar{P}_p)^{(k-1)}$ sırasıyla $(k-1)$ 'nci soğutma döngüsündeki teorik ve pratik ortalama kabul olasılıklarıdır. Buna göre, zayıf adayın k 'nci soğutma döngüsündeki Kabul edilme olasılığı φ 'nin bir önceki döngü değerine göre modifiye edilir. Düzeltme faktörünün üst ve alt sınırları, parametrenin kontrollü biçimde sabit değişimini kolaylaştırmak için zorlanır. Aksi takdirde, ani dalgalanmalar oluşabilir.

Genel olarak, bir tasarımın kalitesizlik derecesi limitsiz olabilir. Böyle bir tasarımı modellemek, Boltzman parametresini, araştırmanın uygun tasarım alanına yönelmesini engelleyen gereksiz şekilde yüksek değerlere ulaştırdığı için algoritmanın başarılı olarak uygulanmasında genellikle tehdit oluşturur. Algoritmayı bu tip tasarımlardan korumak için ve Boltzman parametresinin etkin şekilde çalıştığından emin olmak için denklem (7)' de verilen sigmoid fonksiyonunu kullanarak Boltzman parametresinin yenilenmesi için $\Delta\phi$ şeklinde transformasyon değerleri düşünülmüştür.

$$\Delta\phi_{tra} = \tanh(0.35 * \frac{\Delta\phi}{K}) \quad (7)$$

Bu denkemde, $\Delta\phi_{tra}$, $\Delta\phi$ 'nin transform edilmiş değerini temsil eder. Bu yüzden, $\Delta\phi$ 'nin değeri ne kadar yüksek olursa olsun denklem (7) bu değeri $[0,1]$ aralığında tutar. Daha sonar Boltzman parametresi $\Delta\phi$ 'nin transform edilmiş değerlerinin çalışan averajı olarak ayarlanır ($K = (\Delta\phi_{tra})_{ave}$).

Beşinci adım. Soğutma Döngüsünün Tekrarlanması:

Soğutma döngüsünün tek bir tekrarı tüm tasarım değişkenlerinin bir defa seçilmesi ve aday tasarımlar üretmek için ötelenmeleri durumudur. Genellikle, soğutma döngüsünün sıcaklığıyla ilişkili olarak amaç fonksiyonunun değerinin mantıklı şekilde düşük seviyeye indirilmesini

garanti edecek şekilde bir soğutma döngüsü belli sayıda tekrarlanır. Başlangıç ve sonuç soğutma döngülerinin tekrarlanma sayıları seçildikten sonra (i_s ve i_f), soğutma döngüsünün (i_c) tekrarlanması i_s ve i_f arasındaki lineer interpolasyonla bulunur;

$$i_c = i_f + (i_f - i_s) \left(\frac{T - T_f}{T_f - T_s} \right) \quad (8)$$

Altıncı adım. Sıcaklığı Düşürme:

Bir soğutma döngüsünün tekrarlanmaları tamamlanınca, sıcaklık, soğutma faktörü η nispetinde azaltılır ve bir sonraki soğutma döngüsünün sıcaklığı ayarlanır.

$$T^{k+1} = T^k \cdot \eta \quad (9)$$

Denklem (9)'da, T^k ve T^{k+1} sırasıyla k ve $(k+1)$ 'inci soğutma döngülerindeki sıcaklıklardır.

Yedinci adım. Sonlandırma Kriteri:

Tüm soğutma döngüleri tamamlanana kadar 3 'den 6 'ya kadar olan adımlar tekrarlanır.

2.1.2 HARMONİ ARAMA

Harmoni Arama (HA) metodu ilk olarak Lee ve Geem [Lee ve Geem, 2004] tarafından oluşturuldu. Yöntem; orkestranın bir müzik parçasını çalmaya başlamadan önce, müzik aletlerinin akortlarının yapılarak orkestrada ortak bir harmoni elde edilmesi kavramı üzerine oturtulmuştur. Orkestranın insanlara keyifle dinlettirdiği bir eserin çalınmasındaki müzik aletlerinin uyumu, optimizasyon işleminin global optimumu bulmasına benzetilmiştir. Yapısal optimizasyon metodlarının çoğu önemli derece bilgi isteyen matematiksel algoritmalara gereksinim duyarlar ve başlangıç değerlerin seçimi algoritmanın global optimum değere yakınsamasını sağlamak için önemlidir. HA algoritması ise fazla matematiksel algoritmaya

ihtiyaç duymaz ve başlangıç değerlerine gerek yoktur. HA metodunda derece arttırılarak arama yerine rastgele arama yapılır ve türevsel bilgiye gerek yoktur.

Birinci adım. Harmoni hafıza matrisinin oluşturulması:

İlk olarak başlangıç harmoni hafıza matrisi (H) oluşturulur. Denklem 10'da da gösterildiği gibi matrisin büyüklüğü harmoni hafızanın büyüklüğü kadardır. Harmoni hafıza matrisi, genetik algoritmalar ve evrimsel stratejiler yöntemindeki popülasyon ile kavramsal olarak eşdeğerdir. Harmoni hafıza matrisinin büyüklüğü (μ) çözüm vektörlerinin sayısı kadardır. Her bir çözüm (harmonik vektör, \mathbf{I}^i) tasarım değişkenlerinden (N_d) oluşmaktadır ve her harmonik vektör matrisin ayrı satırında gösterilir. Sonuç olarak, harmonik hafıza matrisi $H = \mu \times N_d$ şeklinde ifade edilir.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} I_1^1 & I_2^1 & \dots & I_{N_d}^1 \\ I_1^2 & I_2^2 & \dots & I_{N_d}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_1^\mu & I_2^\mu & \dots & I_{N_d}^\mu \end{bmatrix} \begin{matrix} \phi(\mathbf{I}^1) \\ \phi(\mathbf{I}^2) \\ \dots \\ \phi(\mathbf{I}^\mu) \end{matrix} \quad (10)$$

İkinci adım. Harmonik hafıza matrisinin değerlendirilmesi:

Harmonik hafıza matrisi çözümleri analiz edildikten sonra onların amaç fonksiyon değerleri Denklem 2'deki birleştirilmiş genel formül içinde hesaplanır.

Değerlendirilen çözümler matris içindeki amaç fonksiyon değerlerinin artan dizisine göre sıralanır. Bu sıralama $\phi(\mathbf{I}^1) \leq \phi(\mathbf{I}^2) \leq \dots \leq \phi(\mathbf{I}^\mu)$ şeklindedir.

Üçüncü adım. Yeni harmoninin geliştirilmesi:

Yeni harmonik matrisi $\mathbf{I}' = [I'_1, I'_2, \dots, I'_{N_d}]$ harmonik hafıza ya da tamamlanmış ayrık set tarafından her bir tasarım değişkeni seçilerek geliştirilir. Harmonik hafıza tarafından bir

tasarım değişkeninin seçilme olasılığı algoritmanın önemli bir parametresi olan harmoni hafıza göz önünde bulundurma oranı ($hmcr$) ile kontrol edilir. Bu olasılığı uygulama amacıyla her bir değişken (I_i) için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı (r_i) oluşturulur. Eğer seçilen rastgele sayı (r_i) harmoni hafıza göz önünde bulundurma oranından ($hmcr$) küçük veya eşit ise değişken H harmoni matrisinin i 'inci sütunu tarafından atanan herhangi bir değer tarafından denklem 24'de gösterildiği gibi seçilir. Eğer r_i sayısı $hmcr$ parametresinden büyükse rastgele değer tamamlanmış ayrık set tarafından atanır.

$$I'_i = \begin{cases} I'_i \in \{I_i^1, I_i^2, \dots, I_i^\mu\} & \text{if } r_i \leq hmcr \\ I'_i \in \{1, \dots, N_s\} & \text{if } r_i > hmcr \end{cases} \quad (11)$$

Eğer bir tasarım değişkeni harmoni hafıza tarafından kendi değerine ulaştırılırsa, bu değer in derece uyumluluğu (pitch-adjusted) olup olmadığı kontrol edilmelidir. Basit bir şekilde derece uyumluluğu değişkenin şimdiki değeri tarafından eklenerek veya çıkarılarak elde edilen değişkenlerin komşu değerlerden birisinin örneklemesidir. Benzer şekilde $hmcr$ parametresi de derece uyumluluğu (par), Denklem 12, olarak bilinen olasılık kavramı ile birlikte çalıştırılır. Eğer par tarafından etkinleştirilmemişse tasarım değişkeni farklılaşmaz.

$$I''_i = \begin{cases} I'_i \pm 1 & \text{if } r_i \leq par \\ I'_i & \text{if } r_i > par \end{cases} \quad (12)$$

Dördüncü adım. Harmoni Hafıza matrisinin Güncelleştirilmesi:

Yeni harmoni vektörünün oluşturulmasından sonra onun amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Eğer bu değer harmoni hafıza matrisinin içindeki en kötü değerden daha düşükse, Bulunan yeni değer hafıza matrisinin içine yerleştirilir ve matrisin içindeki en kötü değer matris içinden çıkartılır. Yenilenmiş harmoni hafıza matrisi amaç fonksiyonlarının değerine göre yükselerek sıralanır.

Beşinci adım. Sonlandırma:

3. ve 4. Adımlar algoritma döngünün maksimum sayısına (N_{cyc}) ulaşıncaya kadar tekrar edilir.

2.1.3 GENETİK ALGORİTMALAR

Evrimsel algoritmaların en iyi bilinen uzantısı yapı optimizasyonunun da içinde bulunduğu geniş spektrumlu mühendislik alanlarında birçok uygulaması bulunan Genetik Algoritmalar (GA). Hali hazırda tekniğin sürekli ve ayrık değişkenli problemlerin çözümüne yönelik geliştirilen birçok versiyonunu literatürde bulmak mümkündür. Mevcut çalışmada ise geniş kabul edilebilirliği ve yaygınlığı nedeniyle standart bileşenlere sahip olan temel genetik algoritma test edilmiştir. Algoritmanın ana yapısı aşağıda maddeler halinde verilmiştir [Goldberg, 1989].

Birinci adım. Başlangıç popülasyonu: Temel genetik algoritmada tasarım değişkeni, gerçek tasarım değeri ile belirtilmez bunun yerine 0 ve 1 sayılarının oluşturduğu sonlu uzunluktaki sayı dizileriyle kodlanır. Kodlanmış bir tasarım değişkeni 001001 dizisinde olduğu gibi sıfır ve birlerden oluşur ve Genetik algoritma terminolojisinde alt dizi olarak ifade edilir. Eğer toplamda N_d tasarım değişkeni mevcut ise söz konusu tasarım problemine olası bir tasarımı ifade edecek olan ana diziyi (kromozom veya birey) oluşturmak amacıyla N_d adet alt dizi bir araya getirilir. Başlangıç popülasyonu sıfır ve bir sayılarının rastgele atanması doğrultusunda ortaya çıkarılan ve önceden belirlenmiş bir sayıdaki (popülasyon boyutu) bireylerden oluşur.

İkinci adım, Kodlama: Bütün alt dizileri verilen bir profil listesindeki standart çelik kesitlerin sıra numarasını temsil eden tamsayı değerleriyle eşlemek amacıyla her birey için kod çözümü gerçekleştirilir. Denklem 13 de gösterilen çoklu-parametre eşleme planı bu amaçla sıklıkla kullanılır.

$$I_i = I_{\min} + \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{2^t - 1} \right) \Omega \quad (13)$$

Burada, l altdizinin boyu (alt dizideki sıfır ve birlerin toplam sayısı), I_{\min} ve I_{\max} sırasıyla profil listesindeki ilk ve son çelik kesitlere denk gelen sıra numaraları ve Ω ise altdizinin ikilik sistemden onluk sisteme geçişe göre hesaplanan kodlama değeridir. ($\Omega(100101) = 2^5 + 2^2 + 2^0 = 37$).

Üçüncü adım, Değer verme ve uygunluk: Birey deşifre edilir edilmez, dış yükler etkisi altında yapının davranışını gözlemlemek amacıyla yapı analizi gerçekleştirilir ve denklem 14 ile belirlenen amaç fonksiyonunu değerinin bu bireye ataması yapılır. Bütün bireylere bu mantık çerçevesinde değer verildikten sonra, her bir bireyin bütün popülasyon içindeki payını ifade eden uyumluluk skoru bulunur. Bu çalışmada uyumluluk skoru f_k nın hesabı için maksimum amaç fonksiyonu $\phi (\phi_{\max})$ nın k bireyine ait amaç fonksiyonu değeri olan ϕ_k ya oranını ifade eden denklem 2 kullanılmıştır.

$$f_k = \frac{\phi_{\max}}{\phi_k} \quad (14)$$

Denklem 16 yardımıyla hesaplanan bu uyumluluk değerlerinin yüksek uygunluğa sahip olan bireylerin baskınlığını elimine etmek amacıyla ölçeklendirilmesi gereklidir. Denklem 15 de bu amaç için kullanılan ölçeklendirme fonksiyonu görülmektedir.

$$f'_k = f_k \left[\frac{(s_c - 1)}{(f_{\max} - f_{\text{ave}})} f_{\text{ave}} \right] + \frac{(f_{\max} - s_c f_{\text{ave}})}{(f_{\max} - f_{\text{ave}})} f_{\text{ave}} \quad (15)$$

Denklem 15 deki f_{\max} , f_{\min} ve f_{ave} sırasıyla popülasyondaki maksimum, minimum ve ortalama uygunluk değerlerini gösterirler. s_c gerçek değerli ölçeklendirme faktörü (2 olarak kabul edilir); ve f'_k ise k bireyinin ölçeklendirilmiş uygunluk değerini ifade eder. Uygunluk ölçeklendirmesi sayesinde ölçeklendirilmiş maksimum uygunluğun bunun ortalama değerine oranı s_c civarında bir değere ayarlanır.

Dördüncü adım: Seçim ve yeniden üretim: Seçim işlemi, yüksek uygunluk skoruna sahip olan bireylerin seçilip tekrar üretildiği ve en küçük uygunluğa sahip olanların ise çiftleşme havuzu olarak adlandırılan orta sınıf popülasyon oluşturmak üzere elimine edildiği bir prosedürde gerçekleştirilir. Teorik olarak, çiftleşme havuzundaki bireylerin temsil edildiği kopya sayısı denklem 29 da verilen uygunluk orantılı seçim ifadesiyle belirlenir.

$$\eta_k = \frac{f'_k}{f'_{ave}} \quad (16)$$

Burada f'_{ave} popülasyonun ölçeklendirilmiş ortalama uygunluğunu gösterirken, η_k bir bireye ayrılan yeniden üretim sayısını ifade eder. Denklem 16 olası yuvarlama hataları nedeniyle doğrudan kullanılmaz bunun yerine algoritmik düzenlemesi rulet çarkı yaklaşımı ile gerçekleştirilir. Bu yaklaşıma göre ilk olarak bireyler ölçeklendirilmiş uygunlukları ile bağlantılı olarak simüle edilmiş çark üzerindeki yuvalara yerleşir. Daha sonra rulet, çiftleşme havuzunda yer alacak bireylerin seçimi ve yeniden üretimi amacıyla μ kere döndürülür.

Beşinci adım, Genetik değişim: Seçilmiş ve yeniden üretilmiş olan bireyler $\mu/2$ çiftle rastgele birleştirilir ve genetik değişim genetik değişim olasılığı p_c olarak adlandırılan olasılık değerine göre ayrı ayrı uygulanır. Genetik değişim bir çifte uygulandığında genetik bilgiyi yeni bireylerin üretilmesi amacıyla ebeveynler arasında değiş tokuş eder. Bu işlemi uygulamak amacıyla birçok farklı strateji tasarlanmıştır. Söz konusu çalışmada, çiftleştirilecek bireylerin rastgele seçilmiş iki genetik değişim sahasında tutulduğu iki noktalı genetik değişim yaklaşımı kullanılmıştır.

Altıncı adım Mutasyon: Önceden tayin edilmiş ve genellikle 0.01 den düşük olarak kullanılan gen-mutasyon olasılığı p_m e bağlı kalınarak, 0 veya 1 genini rastgele değiştirmek suretiyle yeni bireylerin genlerine mutasyon uygulanır.

Yedinci adım: Sonlandırma: Yeni popülasyon ebeveynin yerini alır ve maksimum iterasyon numarasına (N_{gen}) ulaşılan kadar adımlar tekrar edilir.

2.1.4 TABU ARAMA

İlk olarak Glover [Glover, 1989] tarafından geliştirilmiş olan Tabu Arama (TA) yöntemi bir başka meta-bulgusal yöntemdir. Bu metot, kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümünde tekrarlanmaya dayanan basit fakat etkili bir lokal arama stratejisi uygular. Her adımda, bir takım aday çözümler hareket adı verilen bir tek tasarım değişkeninin ötelenmesiyle güncel tasarım çevresinde denenirler. Gelişmemiş bir çözüm olsa bile en iyi aday seçilir ve güncel tasarımın yerine geçer ve hareket bu adayın başarılı bir hareket olmasına yol açar. Araştırmayı aynı çözüm alt kümelerinin içinde çevrim yapmaktan korumak için en son olarak en fazla görülen çözümler tabu listesi adı verilen bir listede toplanırlar. Bu liste araştırmanın bu çözümlerden geçmesini engelleyen yasaklı hareketler kümesidir. Hesaplama yönünden yoğun bir algoritmayı önlemek için tüm çözümler yerine sadece önceden tanımlanmış sayıda en son başarılı hareketler tabu listesine kaydedilirler. Bir adaya, hareketinin tabu listesinde olmaması şartıyla güncel tasarımla yer değiştirme izni verilir; aksi halde, araştırmaya güncel tasarımla devam edilir. Bununla birlikte, sadece hareketler tabu listesinde depolandığı için tabu listesinin genellikle önceden bulunmamış bir çözümü engellemesi mümkündür. Bu yüzden, yasaklanan adayın araştırma süresince o ana kadar en iyi olası çözüm olup olmadığı denenir, buna istek kriteri denir. Bu kriterin sağlanması araştırmanın çevrim içinde olmadığını aksine yeni bir çözüme ilerlediğini gösterir. Böyle bir durumda, bu hareket için olan tabu sınırlandırması o anlık iptal edilir ve araştırma bu yasak çözüme yönlendirilir. Algoritma adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Birinci Adım. Başlangıç Tasarımı:

Başlangıç tasarımı rastgele oluşturulur ve problemin güncel tasarımı olarak düşünülür.

İkinci Adım. Adayların Oluşturulması:

Bir tasarım değişkeni (I_i) seçilir ve bir miktar aday çözüm bu değişkenlerin önceden tanımlanan komşu genişliği n_w içinde değiştirilmesiyle güncel çözüm çevresinde oluşturulur (Denklem 17).

$$I'_i = I_i \pm z_i, \quad z_i = 1, \dots, n_w \quad (17)$$

Denklem 17’de, z_i , i ’ nci tasarım değişkenine uygulanan ötelemeyi temsil eder ve I'_i onun ötelenmiş değeridir. Tasarım değişkeni n_w içindeki tüm değerler için ötelenir. Oluşturulan adayların sayısı $2n_w$ ‘ya eşittir.

Üçüncü Adım. Adayların Değerlendirilmesi:

Tüm adaylar analiz edilirler ve değerlendirilirler ve amaç fonksiyonunun değerleri belirlenir. En düşük amaç fonksiyonuna sahip olan aday I' değeri sayesinde başarılı bir hareket olarak en iyi aday şeklinde algılanır.

Dördüncü Adım. Tabu Durumunun Kontrol Edilmesi:

Daha sonra, başarılı hareketin tabu listesi tarafından yasaklanıp yasaklanmadığı kontrol edilir. Eğer yasaklanmamışsa, hareket kabul edilir ve tabu listesine kaydedilir ve güncel çözüm en iyi adayla yer değiştirir. Aksi taktirde, istek kriteri kontrol edilir.

Beşinci Adım. İstek Kriterinin Kontrol Edilmesi:

Eğer yasaklanmış bir aday istek kriterini sağlıyorsa, bu aday güncel çözümle yer değiştirir ve tabu listesi güncellenir. Aksi halde, aday reddedilir ve araştırmaya güncel çözümle devam edilir.

Altıncı Adım. Tek İterasyon:

Tüm tasarım değişkenleri rastgele sırada birer kere seçildiği zaman algoritmanın tek bir iterasyonu tamamlanır ve adımlar her bir değişken için 2’den 5’e kadar tekrarlanırlar.

Yedinci Adım. Sonlandırma:

Yukarıdaki prosedür önceden belirlenmiş iterasyon sayısı kadar aynı şekilde uygulanır.

2.1.5 KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU

Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO), karıncaların yuvaları ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmalarından esinlenerek geliştirilmiş stokastik arama yöntemidir. Karıncaların yiyecek ile yuva arasındaki en kısa yolu bulmaları kısaca şu şekilde özetlenebilir. Yuvadadan çıkan ilk karınca yiyeceğe ulaşmaya kadar rastgele bir rota izler ve izlediği yol boyunca premon adı verilen maddeyi salgılar. Bu madde takip eden karıncaların dikkatini çekerek ilk karıncanın izlediği rotaya yakın bir rota izlemesine neden olur. Karıncalar daha kısa yol izledikleri zaman yuvaya daha çabuk gelip gittikleri için uzun yol izleyen karıncalara göre yiyecek ile yuva arasında daha fazla tur atmış olurlar. Bu da kısa yolu izleyen karıncaların bu yol üzerinde daha fazla premon madde biriktirmelerine neden olur. Bundan dolayı sonraki karıncalar premon madde yoğunluğu fazla olan kısa yolu tercih ederler. Karıncalar daha kısa yol buldukça daha çok karınca bundan etkilenir ve belli bir süre sonra karıncalar en kısa yolu izleyerek yuva ile yiyecek arasında gidip gelirler. Karınca Kolonisi optimizasyonu yöntemi ilk defa 1992 yılında *Dorigo* [Dorigo, 1992] tarafından geliştirilmiş ve Gezgin Satıcı (TSP) probleminin çözümünde kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği alanında ise bu yöntem ilk defa 2004 yılında *Camp* [Camp et. al., 2004] tarafından üç boyutlu kafes sistemlerin optimum boyutlandırılması probleminin çözümünde uygulanmıştır. Bu yöntemin çerçeve sistemlerinin optimum boyutlandırılması problemine uygulanması da yine *Camp* tarafından gerçekleştirilmiştir. Ama *Hasançebi* [Hasançebi et. al., 2009] tarafından yöntemin etkinliğini arttırmak amacıyla bu algoritmanın bazı parametreleri eksiksiz olarak yeniden formüle edilerek pin-jointed yapılarda uygulandı.

Birinci Adım. Premonların oluşturulması:

Algoritmanın ilk aşamasında başlangıç premon miktarı hesaplanır. Çerçeve tasarımı probleminde başlangıç premon miktarının hesabi aşağıdaki formülle gösterilir.

$$\tau_0 = \frac{1}{W_{\min}} \quad (18)$$

Yukarıdaki formülde W_{\min} değeri, herhangi bir sınırlayıcı şartlarını sağlayıp sağlamadığına bakılmaksızın çerçevenin olabileceği en düşük ağırlığı olarak tanımlanır. Bu değer de

$W_{\min} = \sum_{i=1}^{N_e} \gamma_i L_i A_i$ formülde A_i değerinin en küçük profile ait kesit alanı olması ile gerçekleşir.

İkinci Adım. Seçim olasılıkları:

Başlangıç parametreleri ve başlangıç premon miktarını belirlendikten karıncaların hangi turda hangi gurupları seçecekleri belirlenir ve karıncalar başlangıç gurupları için profil seçmeye başlarlar. Gezgin satıcı probleminde olduğu gibi karıncalar en uygun olasılığa sahip profili seçerler. Profillerin olasılıklarının hesabı formül (19)'da verilmiştir.

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)] \cdot [v_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in allowed} [\tau_{ij}(t)] \cdot [v_{ij}]^\beta} \quad (19)$$

Yukarıdaki formülde t = zaman ya da döngü sayısı; $\tau_{ij}(t)$ = t zamanındaki i numaralı grubun, j numaralı profiline ait premon miktarı; v_{ij} = t zamanındaki i numaralı grubun, j numaralı profiline ait görünürlük değeri; $NofSec$ = toplam profil sayısı; β = görünürlük değerinin önemini ayarlayan ve değeri 0 ile 1 arasında değişen katsayısıdır.

Üçüncü Adım. Karıncaların bir kolonisinin kurulması:

Karınca her secim yaptıktan sonra secim yaptığı profil için yerel güncelleme kuralı uygulanır ve eşitlik 17'ye göre premon miktarında azaltma yapılır.

$$\tau_{ij}(t) = \xi \tau_{ij}(t) \quad (20)$$

Eşitlik 20'de ξ değeri 0 ile 1 arasında değişen yerel güncelleme katsayısı olarak tanımlanır. Tüm karıncalar kendi gurupları için profil seçtiği zaman bir tur tamamlanmış olur. Karıncalar bir sonraki gurupları için yukarıdaki işlemler uygulayarak profil seçimlerini yaparlar. Bu şekilde tüm karıncalar tüm guruplar için seçimlerini tamamladıkları zaman yöntemde bir döngü tamamlanmış olur. Döngü sonunda toplam karınca sayısı kadar tasarım elde edilir.

Dördüncü Adım. Koloninin Değerlendirilmesi:

Karıncalar tarafından tanımlanan tasarımlar için yapı analiz edilir ve amaç fonksiyon değeri her bir karıncaya atanır. Değerlendirilen karıncalar amaç fonksiyon değerleri tarafından sıraya konulur ve seçkin karınca işleyişin başlangıcından beri yer edinmiş uygulanabilirliği en iyi karıncadır.

Beşinci Adım. Global Premon Güncellemesi:

Global güncellemede seçkin karınca yöntemi kullanılır ve bir global güncelleme tasarımı 21 eşitliğinde ki formüle dayandırılarak uygulanır. Bu eşitlikte λ_r kadar seçkin karıncaların tasarımlarından elde edilen premon artış miktarı araştırmayı uygun bölgelere doğru kaydırmak amacıyla eklenir.

$$T_{ji}^{new} = (1 - e_r).T_{ji}^{old} + e_r \left[\lambda_r \Delta T_{ji}^+ + \sum_{k=1}^{\lambda_r} (\lambda_r - r_k)(\Delta T_{ji})_k \right] \quad (21)$$

Eşitlik 21 deki ilk ifade buharlaşma süresi olarak adlandırılır. Burada e_r =buharlaşma oranının olduğu sabit olarak adlandırılır. Bu ifade karıncaların geçeceği bütün yollara(T_{ji})algoritmanın erken yakınsamasını önlemek amacıyla uygulanır. Eşitlik 1.18 deki ikinci ifade toplanma süresi olarak adlandırılır. Burada ΔT_{ij}^+ ve $(\Delta T_{ji})_k$ notasyonları seçkin karıncalar (k -th) tarafından ji yoluna eklenen premon salgısı miktarını ifade ederler ve eşitlik 22 de hesap edilirler. Son olarak r_k değeri 1 ile λ arasında değişen seçkin karıncanın derecesini gösterir.

$$\Delta T_{ji} = \begin{cases} 1/\phi, & \text{if the path } ij \text{ selected by } k - \text{th ant} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22)$$

Altıncı Adım. Sonlandırma:

Global güncelleme yapıldıktan sonra en iyi sonuç tespit edilir, döngü tamamlanır, karıncalar başlangıç noktalarına dönerler ve bir sonraki döngü başlamış olur. Bu şekilde durdurma

ölçütlerinden biri sağlanıncaya kadar döngü tekrarlanır. Yöntemin durdurma kriterleri aşağıda iki madde halinde tanımlanmıştır.

1. Çözümde uzun bir süre boyunca programın sürekli aynı sonucu elde etmesi (çözümün tıkanması).
2. Çözümde maksimum döngü sayısına ulaşılması.

2.1.6 PARTİKÜL KÜME OPTİMİZASYONU

Partikül Küme Optimizasyon (PKO) yöntemi hayvanlarda rastlanan böcek kümelenmesi, kuş sürüleri ve balıkların toplu hareketleri gibi sosyal davranışlarını temel alır [Kennedy ve Eberhart, 1992-1998]. Bu davranış bütün sürü hareketini gösteren bilgi ve aynı zamanda her bir bireyin hafızasına dayalı olan sosyal gruplandırmaya dayanır. Prosedür bir amaç fonksiyonu örnek uzayı içerisinde rastgele olarak oluşturulan sürüyü meydana getiren belli miktarda partikülü ihtiva eder. Sürü içerisindeki her partikül optimum tasarım problemi için birer aday çözümdür. Partiküller örnek uzaya doğru uçuş eğilimindedirler ve bir zaman aralığı için her bir adımdaki pozisyonları, mevcut pozisyonları ve hız vektörleri ve kullanılarak güncellenir. Algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir [Venter ve Sobieszczanski-Sobieski, 2004 – Perez ve Behdinan, 2007].

Birinci adım. Partiküllerin oluşturulması: Bir partikül kümesi küme boyutunu (μ) temsil eden ve önceden belirlenmiş miktarda partikülden oluşur. Her partikül (\mathbf{P}) iki adet bileşene sahiptir; bir yer (tasarım) \mathbf{I} vektörü ve bir hız vektörü \mathbf{v} (Denklem 23). Yer vektörü \mathbf{I} tasarım değişkenlerinin değerlerini (yerlerini) ihtiva ederken hız vektörü \mathbf{v} de arama süresince bu yer vektörünün güncellenmesi için kullanılır. Sürü içindeki her bir partikül bütün ilk pozisyonlar $I_i^{(0)}$ ve hızlar $v_i^{(0)}$ 24 ve 25 numaralı denklemlere bağlı olacak şekilde rastgele başlatma prensibiyle oluşturulur.

$$\mathbf{P} = (\mathbf{I}, \mathbf{v}), \quad \mathbf{I} = [I_1, I_2, \dots, I_{N_d}] \quad , \quad \mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_{N_d}] \quad (23)$$

$$I_i^{(0)} = I_{\min} + r(I_{\max} - I_{\min}), \quad i = 1, \dots, N_d \quad (24)$$

$$v_i^{(0)} = \frac{I_{\min} + r(I_{\max} - I_{\min})}{\Delta t}, \quad i = 1, \dots, N_d \quad (25)$$

Burada, r 0 ile 1 arasında rastgele seçilmiş bir numara; Δt zaman aralığı; ve I_{\min} , I_{\max} ise sırasıyla profil listesindeki ilk ve son çelik profilin sıra numaralarını göstermektedir.

İkinci adım. Partiküllerin değerlendirilmesi: Bütün partiküller 2 numaralı denkleme bağlı kalınmak suretiyle analiz edilir ve amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

Üçüncü adım. Partiküllerin en iyi değerinin ve küme içindeki en iyi partikül değerinin güncellenmesi: Bir partikülün o ana kadarki en iyi pozisyonu (minimum amaç fonksiyonu değerine sahip olan en iyi tasarım) partikülün en iyi değeri olarak kabul edilir ve her bir partikülün an iyi değeri \mathbf{B} vektörüne kaydedilir. Bunun yanı sıra prosesin başlangıcından itibaren herhangi bir partikül tarafından elde edilmiş olan en iyi pozisyon ise en iyi global pozisyon olarak \mathbf{G} vektörüne kaydedilir. Her bir k iterasyon adımı için partikül ve global en iyi pozisyon değerleri güncellenir.

$$\mathbf{B}^{(k)} = [B_1^{(k)}, \dots, B_i^{(k)}, \dots, B_{N_d}^{(k)}] \quad \mathbf{G}^{(k)} = [G_1^{(k)}, \dots, G_i^{(k)}, \dots, G_{N_d}^{(k)}] \quad (26)$$

Dördüncü adım. Partiküllerin hız vektörlerinin güncellenmesi: Her bir partikülün hız vektörü partiküllerin mevcut pozisyonu, en iyi pozisyonu ve global en iyi pozisyon dikkate alınarak aşağıdaki gibi güncellenir.

$$v_i^{(k+1)} = wv_i^{(k)} + c_1r_1\left(\frac{G_i^{(k)} - I_i^{(k)}}{\Delta t}\right) + c_2r_2\left(\frac{B_i^{(k)} - I_i^{(k)}}{\Delta t}\right) \quad (27)$$

Burada, r_1 ve r_2 0 ile 1 arasında seçilen rastgele sayılar; w algoritmanın keşif özelliklerini kontrol eden partikül atalet parametresi; ve c_1 ve c_2 ise partikülün sırasıyla kendisine ve sürüye ne kadar bağlı kalacağını gösteren güven parametreleridir.

Beşinci adım. Partikül pozisyon vektörünün güncellenmesi: Daha sonra 41 numaralı denklem ile güncellenen hız vektörü kullanılarak her bir partiküle ait pozisyon vektörü güncellenir.

$$I_i^{(k+1)} = I_i^{(k)} + v_i^{(k+1)} \Delta t \quad (28)$$

Altıncı adım. Sonlandırma: İki den beşe kadar olan adımlar önceden belirlenmiş olan N_{ite} kadar iterasyon için tekrarlanır.

2.1.7 AYRIK EVRİMSEL STRATEJİLER

Algoritmada uygulanan Ayrik Evrimsel Stratejiler (AES) altında yatan prensip [Schwefel, 1967], tasarım değişkenlerinin aşağıdaki formda [Hasançebi, 2007] verilen geometrik dağılıma göre rastgele sayı denemeleri ile değiştirilmesi noktasındadır.

$$P(z) = \frac{1}{\psi + 1} \left(1 - \frac{1}{\psi + 1} \right)^z, \quad z \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (29)$$

burada, z geometrik olarak dağıtılmış rastgele bir tamsayıdır ve ψ bu dağılımın ortalaması (beklentisi) olarak tanımlanır. Bu metodun hesap adımları aşağıda özetlendiği gibidir;

Adım1: Başlangıç Popülasyonu

μ sayı içeren ebeveyn çözümleri (bireyler) başlangıç popülasyonudur. Tasarım değişkenleri vektörü I 'dan başka, her birey iki strateji parametresi seti (p ve ψ) içerir, Denklem (30). Her iki strateji parametresi doğa ile öz uyumludur ve otomatik tarzda problem özgü arama şeması tesis etmek için bireyler tarafından uygulanır.

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{I}, p, \psi) \quad (30)$$

Denklem (56) 'da, p bireylerin tüm değişkenliklerini ayarlamak için kullanılan mutasyon olasılık parametresidir. Ψ vektörü, ψ_i ($i = 1, \dots, N_d$) parametrelerinin tüm setini temsil eder ve bir bireydeki her tasarım değişkeni şekil ve düzlüğü ile bağlantılı olarak geometrik dağılımı değiştirmek için farklı bir ψ_i ($i = 1, \dots, N_d$) değeri ile çift oluşturur. Popülasyonun rastgele başlaması tasarım vektörleri için uygulanır ve strateji parametrelerine sayısal deneylere dayanılarak başlangıçta uygun değerler ($p^{(0)}$, $\psi_i^{(0)}$) atanır.

Adım 2: Popülasyonun Değerlendirilmesi

Daha Sonra başlangıç popülasyonu değerlendirilir. Burada, her birey ya içsel bir sonlu elemanlar rutini kullanılarak, ya da tasarım değişkenleri için seçilmiş çelik kesitler seti ve uygulanan yükler altında elde edilen kuvvet ve deformasyon tepkileri ile dışsal bir yapı analizi paket programı ile bağlantılı olarak analiz edilir. Tüm problem sınırlayıcılarını sağlayan olası çözümlerin amaç fonksiyonları, direk olarak Denklem (37) 'den hesaplanır. Bununla birlikte, bazı problem sınırlayıcılarını ihlal eden olası olmayan çözümler dışsal ceza fonksiyonu yaklaşımı kullanılarak cezalandırılır ve Denklem (31) 'e göre bunların amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

$$\phi = W[1 + Ceza(J)] = W \left[1 + r \left(\sum_{j=1}^{n_j} (g_j) \right) \right] \quad (31)$$

Denklem (31) 'de, ϕ sınırlandırılmış amaç fonksiyonu değeridir. $g_j, j = 1, \dots, n_d$ normalize edilmiş sınırlayıcıların bütünüdür ve α bir bütün olarak cezalandırma yoğunluğunu ayarlamak için kullanılan ceza katsayısıdır. α 'nın değeri $\alpha = 1$ gibi uygun bir statik değer olarak atanmasına rağmen, daha etkili optimizasyon işlemi için arama süresince kendi değerini otomatik şekilde ayarlamasına izin verilen uyarlamalı bir ceza fonksiyonu uygulaması tercih edilmiştir.

Adım 3: Yeniden Birleşim

Değerlendirmeden sonra, ebeveyn popülasyon yavru popülasyonu oluşturmak için yeniden birleşim ve mutasyon operatörlerinden geçer. Yenide birleşim, λ yeni (yavru) bireyler oluşturmak için μ ebeveynler arasında az miktarda tasarım bilgisi sağlar. Yeniden birleşim sadece tasarım vektörlerine değil çeşitli farklı şemalardaki bireylerin strateji parametrelerine de uygulanabilir. Sunulan çalışmada, strateji parametrelerini ara şemalar kullanılarak yeniden birleştiren bir global ayırık yeniden birleşim operatörü tasarım değişkenleri için kullanılmıştır. Farz edelim ki \mathbf{s} bir bireyin rastgele bileşenini temsil etsin, örneğin $\mathbf{s} \in \{\mathbf{I}, p, \Psi\}$, yeniden birleştirilmiş \mathbf{s}' aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$s'_i = \begin{cases} s_i^a \text{ veya } s_i^{bj} & \text{:global ayırık} \\ s_i^a + (s_i^b - s_i^a) / 2 & \text{:orta} \end{cases} \quad (32)$$

Denklem (32) 'de, \mathbf{s}^a ve \mathbf{s}^b , ebeveyn popülasyondan rastgele seçilmiş olan iki ebeveyn bireyinin \mathbf{s} bileşenidir ve s_i^a ve s_i^b , \mathbf{s}^a ve \mathbf{s}^b 'nin tipik elemanlarını temsil eder. Global ayırık yeniden birleşimde, s_i^a eşit olasılıklar altında iki ebeveynden seçilir, öyle ki ilk ebeveyn değiştirilmeden tutulurken ikinci ebeveyn her i eleman için yeniden seçilir. Orta yeniden birleşim şemasında, her iki ebeveynde i 'nin tüm elemanları için sabit tutulur ve bunların aritmetik ortalaması hesaplanır.

Adım 4: Mutasyon

Mutasyon her yavru bireye uygulanır ve yavrular için yeni bir tasarım değişkeni ve strateji parametresi kümesi ile sonuçlanır. İlk olarak mutasyon olasılık parametresi p , lojistik normal dağılım (Denklem (33)) kullanılarak değiştirilir ki bu p 'nun değiştirilmiş değerinin her zaman (0,1) aralığında kalmasını garanti eder.

$$p' = \left(1 + \frac{1-p}{p} \cdot e^{-\gamma \cdot N(0,1)} \right)^{-1} \quad (33)$$

Daha sonra her tasarım değişkeni I_i için $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayı r oluşturulur ve bu ψ_i parametresi ile ilintilidir. Eğer $r > p'$ ise, ne I_i nede ψ_i değiştirilmez. Aksi takdirde, ψ_i varyasyon tabanlı lognormal dağılıma göre değiştirilir (Denklem (34)).

$$\psi'_i = \psi_i \cdot e^{\tau \cdot N_i(0,1)} \geq 1.0 \text{ eğer } r \leq p' \in [0,1] \quad (34)$$

Son olarak, geometrik yönden dağıtılmış iki rastgele tam sayı $(z_{i,1}, z_{i,2})$, ψ'_i dağılım parametresi kullanılarak denenir ve I_i bunların farkı ile değiştirilir, Denklem (35).

$$I'_i = I_i + z_{i,1}(\psi'_i) - z_{i,2}(\psi'_i) \quad (35)$$

Denklem (31-35) 'de, p' , ψ'_i ve I'_i bunların ilgili parametrelerinin değiştirilmiş değerleridir, $N(0,1)$ beklentisi 0 ve standart varyasyonu 1 olan normal dağıtılmış rastgele değişkendir, γ ve τ , p ve ψ_i için öğrenme oranı sabitleridir ki bunlar genellikle sırasıyla $\gamma = 1/\sqrt{2\sqrt{N_d}}$ ve $1/\sqrt{N_d}$ 'nin önerilen değerleridir. Burada N_d tasarım değişkenlerinin sayısını temsil eder.

Adım 5: Seçim

Seçim, ebeveyn ve yavruların arasından hayatını devam ettirenleri kararlaştırdıktan sonra yapılır. Burada tüm ebeveynlerin ölüme terk edilmesi ve λ yavru arasından belirleyici bir şekilde en düşük amaç fonksiyonu değerine göre seçilen en iyi μ yavru mantığına dayanan (μ, λ) seçim stratejisi uygulanır. Seçilen (hayatta kalan) bireyler bir sonraki jenerasyonun ebeveynleri olurlar.

Adım 6: Sonlandırma

2 'den 5 'e kadar olan adımlar önceden belirlenmiş jenerasyon sayısı (N_{gen}) kadar uygulanır.

BÖLÜM 3

OPTİMUM BOYUTLANDIRMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

3.1 PROBLEM FORMÜLASYONU

Minimum ağırlıklı çelik yapı boyutlandırılması probleminde boyutlandırma değişkenleri aşağıdaki gibi alınabilir:

$$\text{Tasarım değişkenleri kümesi: } [m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_{nm}, O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_{nc}] \quad (36)$$

Burada, m_i , i'inci yapı elemanının birim boy ağırlığı, O_j j'inci kolon elemanının doğrultusunu (local22 veya local33) ifade eder, nm ve nc ise sırasıyla toplam eleman ve kolon sayısını gösterir. Buna göre, tasarım işleminde tüm elemanların boyutlarına ek olarak seçilen kolon elemanlarının doğrultuları tasarım değişkeni olarak kabul edilecektir. Yapı elemanları, geniş başlıklı I-profilleri gibi şartnamelerce tanımlanan ve piyasada var olan profil listelerinin hazır kesitleri arasından seçilecektir.

Amaç, yapı ağırlığını minimize etmektir. Yapı ağırlığı W olarak gösterilirse, amaç fonksiyonu denklem (37)'deki gibi olacaktır.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \min W = \sum_{i=1}^{nm} m_i L_i \quad (37)$$

Tasarımlar, TS-648 [TS648, 1980] ve ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamelerince öngörülen hükümler doğrultusunda gerçekleştirilecektir. Buna göre, tasarım kriterleri şu şekilde olacaktır.

Eğilme ve Eksenel Gerilme Sınırlayıcıları:

Basınç ve eğilmeye maruz kalmış bir eleman için, $f_a/F_a > 0.15$ ise,

$$\left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0 \quad (38)$$

$$\left[\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0 \quad (39)$$

Basınç ve eğilmeye maruz kalmış bir eleman için, $f_a/F_a \leq 0.15$ ise,

$$\left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0 \quad (40)$$

Çekme ve eğilmeye maruz kalmış bir eleman için,

$$\left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0 \quad (41)$$

Buradaki F_y elemanın maksimum taşıma kapasitesidir. İzin verilen eksenel gerilme ve eğilme gerilmesi değerleri sırasıyla F_a , F_b ile temsil edilir. f_a hesaplanmış olan basınç veya çekme şeklindeki eksenel gerilme değerini gösterirken, eğilme şeklindeki normal gerilme f_b ile ifade edilir. İzin verilen major ve minör eğilme gerilmeleri sırasıyla f_{bx} , f_{by} ile belirtilir. C_m ise ikincil moment değerlerinin etkisinin aşırı tahminini, $(1-f_a/F_c)$ yükseltme faktörüyle dengelemek amacıyla denklemlere eklenen moment katsayısıdır. Çaprazlı çerçeve elemanları

için elemanların uçları arasındaki yüklemenin varlığına bağlı olarak değişiklik gösteren iki adet C_m denklemi bulunur. Eğer uçlar arasında bu şekilde bir yükleme bulunmuyorsa bu durumda C_m

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2) \quad (42)$$

ile hesap edilir. Buradaki M_1/M_2 küçük uç momenti değerinin büyüğe oranıdır.

$$C_m = 1 + \psi(f_a / F'_e) \quad (43)$$

Formülü ile uçları arasında yüklemenin var olduğu çerçeve elemanları C_m için hesaplanır. ψ elemandaki maksimum sehim ve maksimum moment değerlerini göz önünde bulundurmak için kullanılan bir parametredir.

F'_{ex} ve F'_{ey} elemanın ana eksenine doğrultusundaki Euler gerilmesidir ve aşağıdaki formülle belirlenir.

$$F'_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{2.5 \cdot \left[K \cdot \left(\frac{s_b}{i_b} \right) \right]^2} \quad (44)$$

Buradaki i_b eğilmeye dik olan düzleme göre atalet yarıçapı değeridir. E çeliğin elastisite modülü, s_b çaprazsız eleman uzunluğudur. Son olarak K , majör ve minör eğilme yönlerindeki etkili uzunluk K-faktörüdür. Kiriş ve eğilme elemanları için, K değeri 1 olarak kabul edilir. Çaprazlı veya çaprazsız kolon elemanlarının K değerlerinin hesaplanmasında ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] 'da bulunan uyum tablolarından faydalanılır. Bu çalışmada, yaklaşık etkili uzunluk formülleri Dumonteil [Dumonteil, 1992] tarafından geliştirilen ve denklemleriyle verilmiştir. Hellesland [Hellesland, 1994] 'de bu denklemlerin doğrulaması irdelenmiştir ve bu denklemlerin -1.0 ve +2.0 % gibi sapmalarla kesin sonuçlara yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bu denklemler;

Çaprazsız çerçeveler için;

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (45)$$

Çaprazlı çerçeveler için;

$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2.0(G_A + G_B) + 1.28} \quad (46)$$

Şeklindedir. Buradaki G_A ve G_B are the rijitlik oranları veya kolonların iki ucundaki göreceli rijitliklerdir.

Narinlik Sınırlayıcıları:

TS-648 [TS648, 1980] 'de tüm elemanlar için,

$$\lambda = \frac{L}{i} \leq 250 \quad (47)$$

AISC-ASD [ASD-AISC, 1989] 'de basınç ve çekme elemanları için,

$$\lambda_{bas} = \frac{L}{i} \leq 200 \quad \text{ve} \quad \lambda_{cek} = \frac{L}{i} \leq 300 \quad (48)$$

Deplasman ve Rölatif Öteleme (Drift) Sınırlayıcıları:

$$\Delta_i \leq \frac{h}{400} \quad (49)$$

Kesme Gerilmesi Sınırlayıcıları:

$$\frac{V}{A_w} \leq 0.4F_y C_v \quad (50)$$

Denklem (43)-(50) 'de kullanılan tüm parametrelerin tanımları şu şekildedir:

C_m = Uç momentlerini, y açıklık momentlerini ve yanal desteklemeleri göz önüne alan bir katsayı,

F_a = Yalnızca basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilecek gerilme,

f_a = Yalnızca basınç kuvveti etkisi altında hesaplanan gerilme,

F_b = Yalnızca eğilme momenti etkisi altında müsaade edilecek basınç eğilme gerilmesi,

f_b = Yalnızca eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesi,

$$F_e' = \frac{\pi^2 * E}{2,5 * (K * (s_b / i_b))^2}$$

E = Çeliğin elastisite modülü

K = Eğilmenin olduğu eksene göre burkulma boyunu elde etmek için kullanılan katsayı,

i_b = Eğilmenin olduğu düzleme dik olan eksene göre atalet yarıçapı,

s_b = Destekler arası mesnetsiz mesafe,

i = Münferit bir çubuğun en küçük atalet yarıçapı,

λ = Narinlik modülü,

L = Çubuğun burkulma boyu,

Δ_i = Deplasman mesafesi,

h = Başlıklar arasındaki net uzaklık,

V = Kayma gerilmesi,

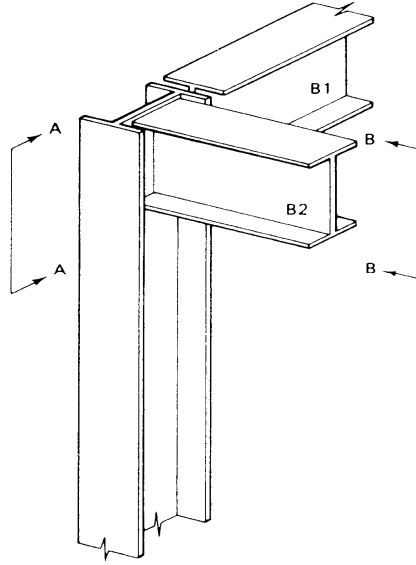
A_w = Gövde alanı,

F_y = Gövdenin akma sınırı,

C_v = Kayma gerilmesi hesabında kullanılan bir katsayı.

Bu sınırlayıcılara ilave olarak, kolon ve kiriş bağlantıları için çözümün uygulanabilirliği dikkate alınarak şu uygunluk sınırlayıcıları entegre edilecektir.

Uygunluk sınırlayıcıları:



Şekil 3.1 Kolon-kiriş geometrik sınırlayıcıları

Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi B1 kirişinin başlık genişliği, kolon başlık genişliğinden kısa olmalı,

$$\frac{b_{fbk}}{b_{fck}} - 1.0 \leq 0 \quad (51)$$

B2 kirişinin başlık genişliği, kolon gövde genişliğinden kısa olmalı,

$$\frac{b'_{fbk}}{(d_{cl} - 2t_{fl})} - 1.0 \leq 0 \quad (52)$$

Üst kolon gövde genişliği alt kolon gövde genişliğinden kısa olmalı,

$$\frac{d_{un}}{d_{bn}} - 1.0 \leq 0 \quad (53)$$

BÖLÜM 4

BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

Optimum tasarım problemlerinin çözümü amacıyla bilgisayar programlarından faydalanılmıştır. Tekniklerin işleyişi içerisinde var olan iterasyonlar hazırlanan kodlar ile otomatik hale getirilmiştir. Borland Delphi programlama dilinden faydalanılarak üretilen programların bazı özellikleri aşağıda verilmiştir. Şekil 4.1-4.7 'de bu programlara ait kullanıcı arayüzleri görüntülenmiştir.

1. TS-648 [TS648, 1980] ve AISC-ASD [ASD-AISC, 1989] şartnamelerine göre çözüm üretilebilir.
2. Çelik yapılar iki ve üç boyutlu olarak modellenenebilir.
3. Optimum tasarım, çelik yapılar için şartnamelerce öngörülen şu tahkikler göz önüne alınarak gerçekleştirilebilir:
 - Eğilme ve eksenel gerilme tahkikleri
 - Narinlik oranı tahkiki
 - Maximum deplasman tahkiki
 - Katlar arasında göreceli öteleme (drift) tahkiki
 - Kesme gerilmesi tahkiki
 - Kolon kiriş bağlantısı uygunluk tahkiki
4. Yapı sistemlerinin analizlerinde şu durumlar göz önüne alınabilir:
 - Yapının tekil ve birleşik yükler altında statik analizi
 - Yapının tepki-spektrum ve mod birleştirme yöntemleri ile dinamik analizi
 - Döşemelerin shell tipinde iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi
 - Mafsallı ve yarı rijit kolon ve kiriş bağlantılarının modellenmesi
 - Elastik zeminlerin yaylarla modellenmesi
 - Katların kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalıştırılması

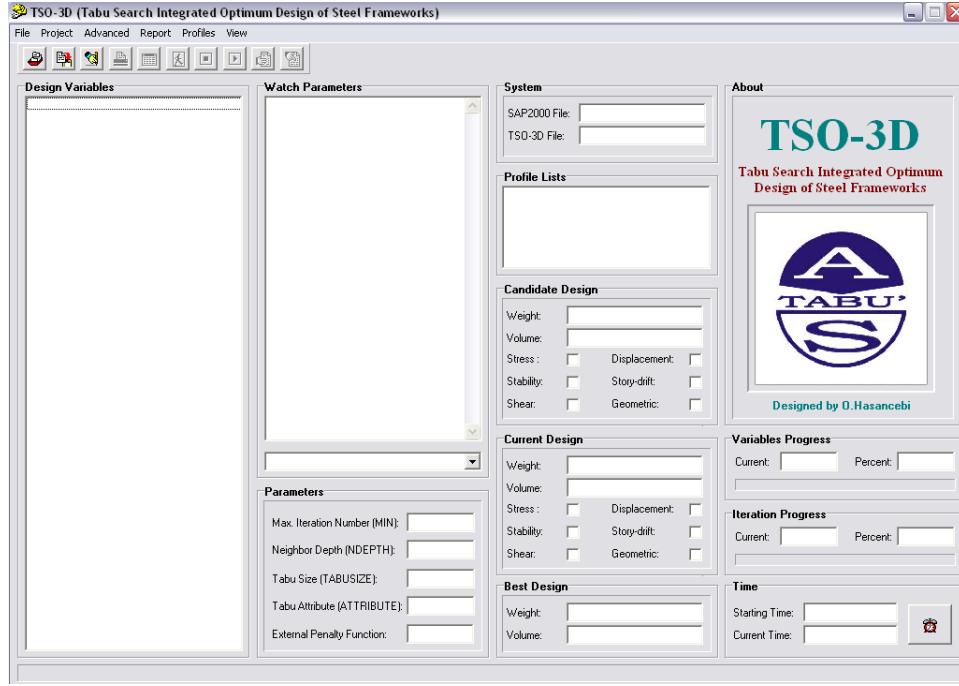
5. Yapı sistemlerinin tasarımlarında şu pratik durumları göz önüne alınabilir:

- Optimum tasarımlar yapı sisteminin ötelenmesi ve ötelenmemesi durumları için ayrıca elde edilebilir
- Yatay yükleri taşımak üzere her tipte (çapraz, V-tipi vs.) diyagonal bağlantı elemanı tanımlanabilir
- İstenilen sayıda eleman grupları tanımlanarak, bir grup içindeki tüm elemanların aynı kesite ve doğrultuya sahip olması sağlanabilir
- Kiriş elemanlarının eğilme emniyet gerilmesi, elemanların burkulmaya karşı yanıl destekli veya desteksiz kabulüne göre hesaplanabilir
- Çözümlerde EuroCode ve AISC şartnamelerince öngörülen tüm profil listeleri kullanılabilir
- Kolonların doğrultuları tasarım değişkenleri olarak tanımlanabilir, ve böylece optimum çözüm için kolonların yerleştirilmesi gerekli doğrultuları tespit edilebilir.

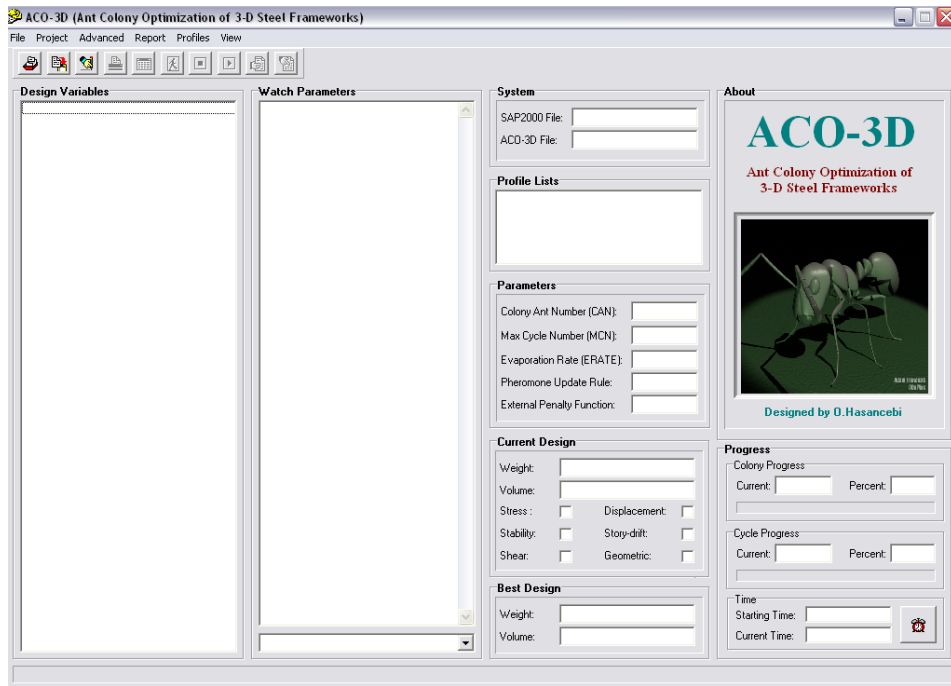
4.1. Programların Kullanımı ve Görsel Özellikleri:

1. Optimum tasarımı gerçekleştirilecek yapı sisteminin geometrik modeli, SAP2000 programı yordamıyla hazırlanır.
2. Geometrik modelin hazırlanmasına müteakiben, “File” menüsü altındaki “Input File” komutu çalıştırılarak “Define Data” penceresinin ekrana getirilmesi sağlanır. Kullanıcı bu pencerede optimizasyon tekniği parametreleri ile birlikte tasarım için kullanılacak eleman grupları, profil listeleri ve eleman özellikleri gibi yapı sistemi parametreleri ve özelliklerini tanımlar.
3. Daha sonra, yine “File” menüsü altındaki “Constraint” komutu çalıştırılarak Define Constraints” penceresi ekrana getirilir. Bu pencere çözüm için kullanılacak şartname ve bu şartnamece öngörülen tahkiklerin kullanıcı tarafından seçilerek belirlenmesini sağlar.
4. “Project” menüsü, optimizasyon işleminin başlatılması, geçici olarak durdurulması, sona erdirilmesi gibi komutların işletilmesi için kullanılır. Bu komutlar başlık çubuğu altındaki hızlı erişim butonları kullanılarak da verilebilir.

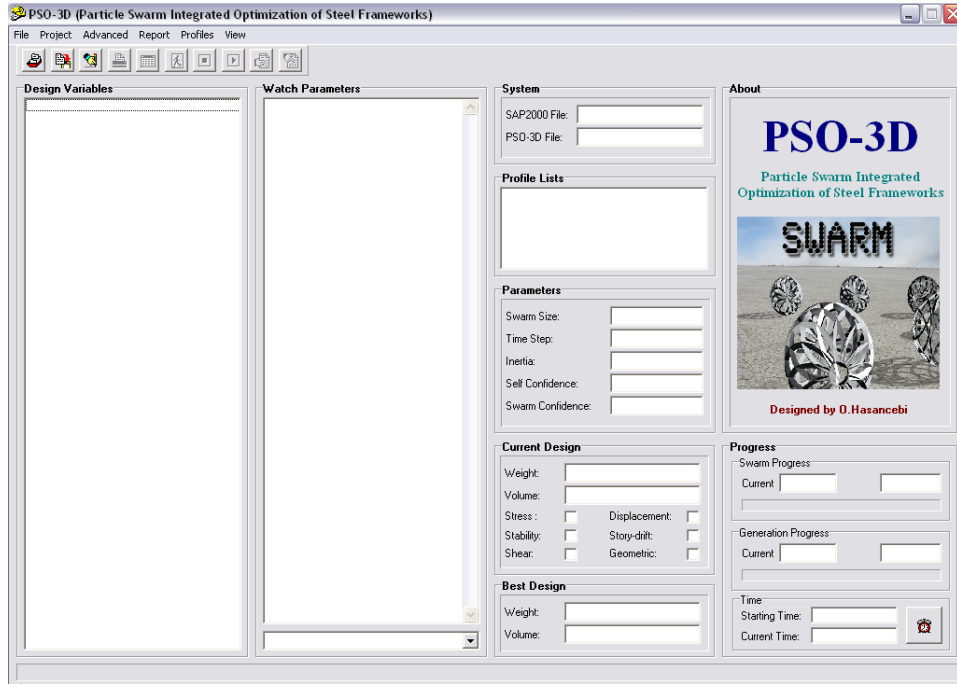
5. Optimizasyon işleminin herhangi bir anında işlem gören tasarımın tüm kesit ve doğrultu değişkenleri ana menü üzerindeki “Design Variables” grup kutusuna yansıtılır. Yine bu tasarımın ağırlığı, hacmi ve sınırlayıcıları sağlayıp sağlamadığı yönünde çeşitli bilgiler ana menü üzerindeki “Current Design” isimli grup kutusunda görüntülenir.
6. Kullanıcı, optimizasyon işleminin herhangi bir anında işlemi durdurup o ana kadar elde edilen en iyi tasarım ile optimizasyon parametrelerinin değişimini görüp, bunları rapor halinde dosyalara kaydedebilir. Tüm bu komutlar “Report” menüsünden “3D Project Output” penceresinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Buna ilaveten optimizasyon parametrelerinin değişimi ile en iyi tasarımın iterasyonlar boyunca değişimi programı durdurmaksızın “Watch Parameters” isimli grup kutusundan online olarak monitör edilebilir.
7. Kullanıcının isteği doğrultusunda, “View” menüsü vasıtasıyla SAP2000 programını çalıştırıp, en iyi tasarımın ekstürüze edilmiş görünümünü (extruded view) elde edebilir.



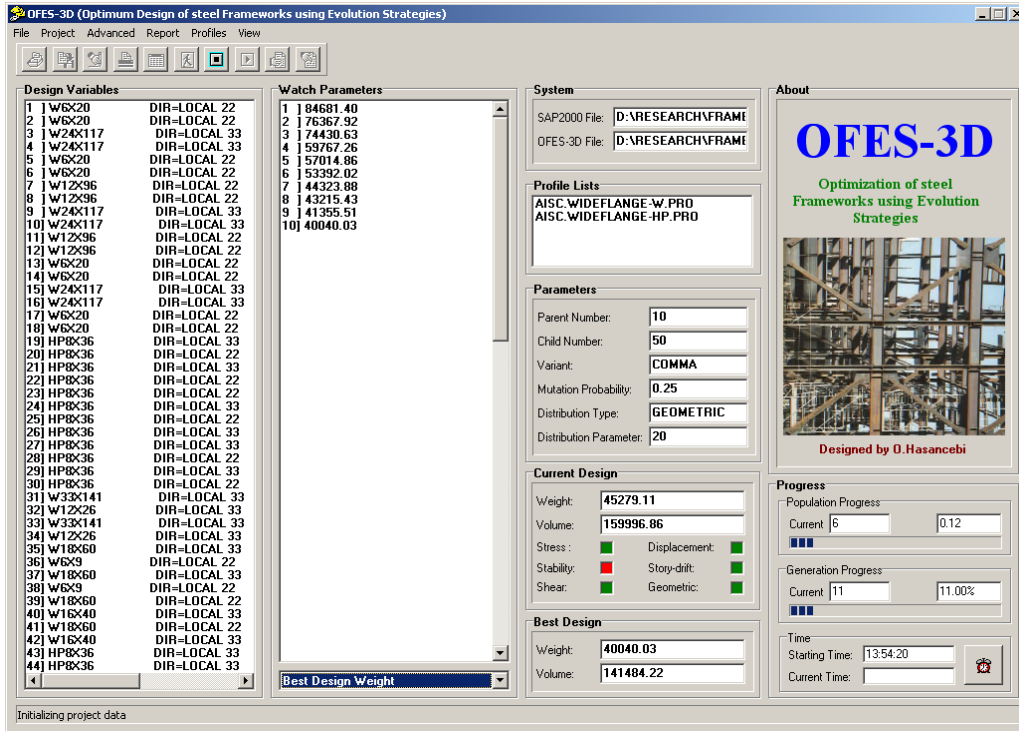
Şekil 4.1 TSO (Tabu Arama) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.



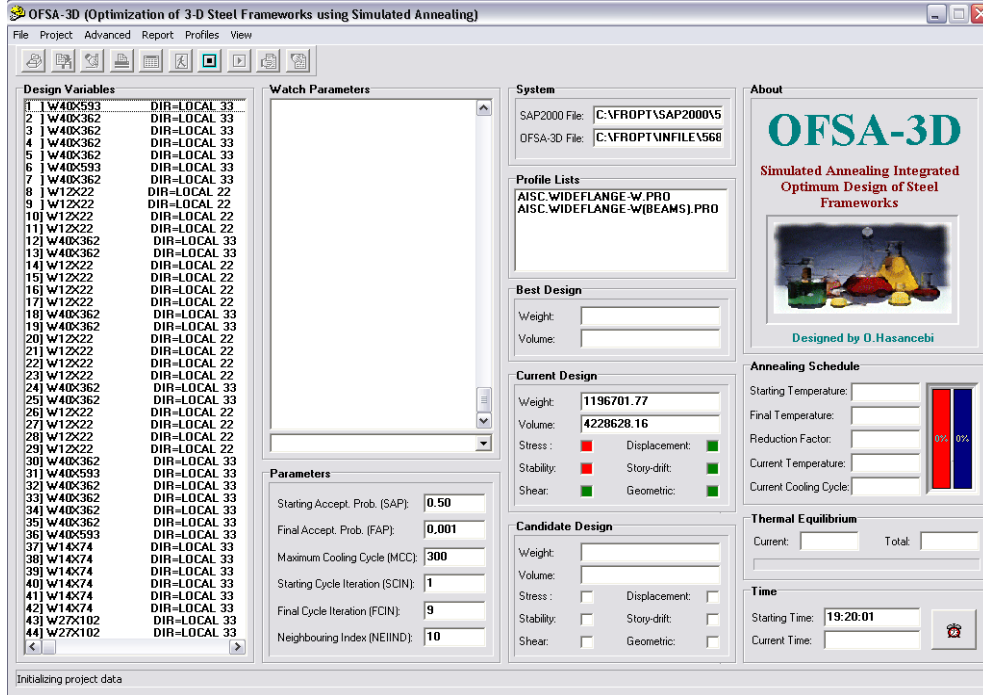
Şekil 4.2 ACO (Karıncı Kolonisi Optimizasyonu) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.



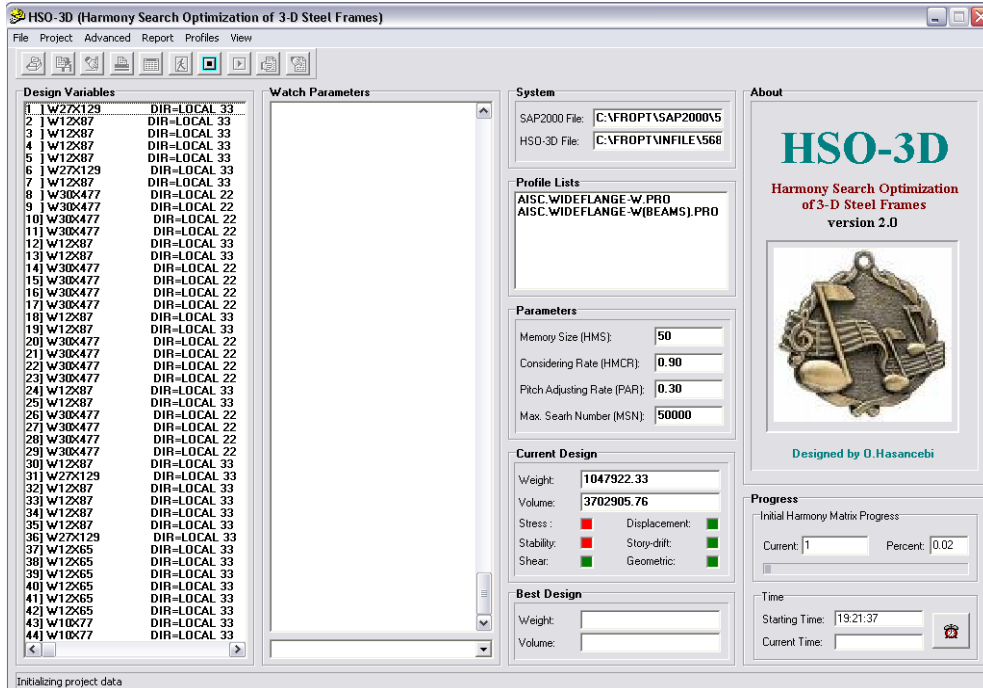
Şekil 4.3 PSO (Partikül Küme Optimizasyonu) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.



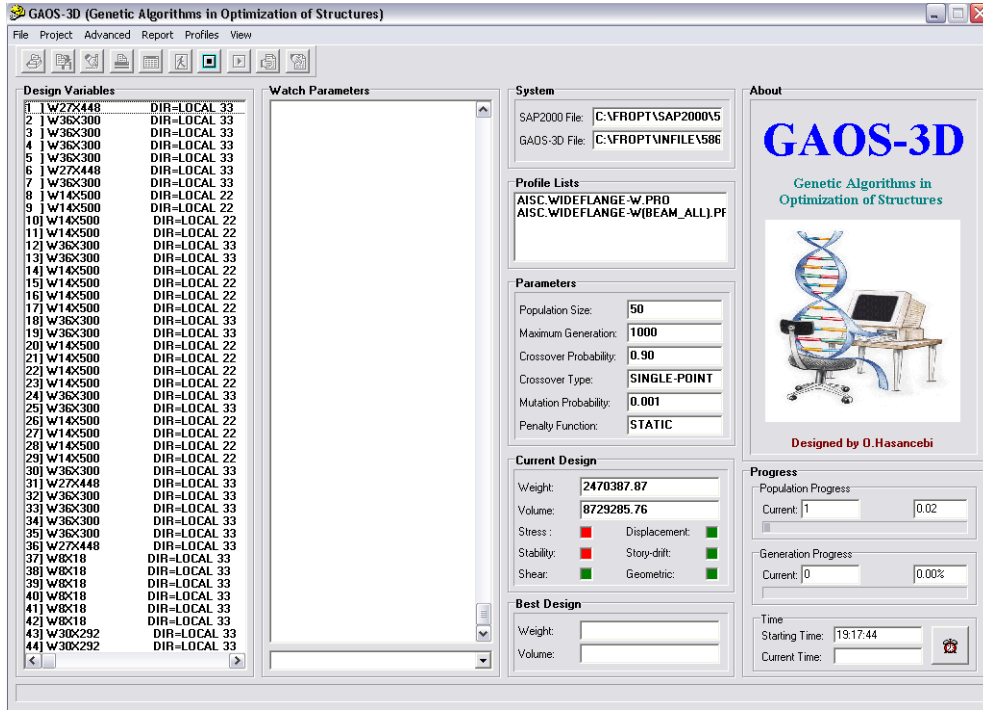
Şekil 4.4 OFES (Evrimsel Stratejiler) yazılımının açılış ekranı.



Şekil 4.5 OFSA (Benzetimli Tavlama) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.



Şekil 4.6 HSO (Harmoni arama metodu) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.



Şekil 4.7 GAOS (Genetik algoritmalar) programının açılış ekranı ve çalışması anında ekran görüntüsü.

BÖLÜM 5

TASARIM ÖRNEKLERİ

5.1 TASARIM YÜKLERİ

Yük durumları ve kombinasyonları ASCE 7-05 [ASCE, 2005] 'e göre kararlaştırılmıştır. Yapılar hem dikey (VL) hem de yatay (LL) yüklere maruz bırakılmıştır. Dikey yükler ölü, hareketli ve kar yüklerini içerir ve çalışmada düşünülmüş olan tüm yapılar için tanımlanmışlardır. Yatay yük olarak yapılar ya deprem kuvvetlerine ya da yatay rüzgâr yüklerine maruz bırakılmışlardır. Dikey ve yatay kuvvetler iki yük durumu altında kombine edilmiştir. İlk yükleme durumunda dikey yükler x eksenini boyunca yatay yükler ile birlikte etkililirken (1.0VL+1.0LL-x) ikincisinde ise y eksenini boyunca yatay yükler ile birlikte etkililmişlerdir (1.0VL+1.0LL-y).

5.1.1 Dikey Yükler

Döşeme levhasına etkiyen dikey yükler ölü (DL), hareketli (LL) ve kar (SL) yüklerini içerirler. Çatı hariç tüm döşemeler 2.88 kN/m² (60.13 lb/ft²) tasarım ölü yüküne ve 2.39 kN/m² (50 lb/ft²) tasarım hareketli yüküne maruz bırakılmışlardır. Çatı 2.88 kN/m² (60.13 lb/ft²) tasarım ölü yüküne ilaveten tasarım kar yüküne maruz bırakılmıştır. Tasarım kar yükü ASCE 7-05 'de verilmiş olan aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$p_s = 0.7C_s C_e C_t I p_g \quad (54)$$

Bu eşitlikte p_s , kN/m² cinsinden tasarım kar yükü, C_s , çatı eğim faktörü, C_e , etki faktörü, C_t , sıcaklık faktörü, I , önem faktörü ve p_g , zemin kar yüküdür. Düz ve tamamen açık bir çatıya sahip olan ısınmış bir bina için bu faktörler şu şekilde seçilebilir $C_s = 1.0$, $C_e = 0.9$, $C_t = 1.0$ $I = 1.0$, ve $p_g = 1.20$ kN/m² (25 lb/ft²). Bu katsayılarla bağlı olarak tasarım kar yükü

1.20kN/m² (25 lb/ft²) olur. Hesaplanmış olan yerçekimi yükleri döşemeler için geliştirilmiş olan dağıtım formülleri kullanılarak kirişler üzerine düzgün yayılı yükler olarak uygulanır.

5.1.2 Yanal Rüzgar Yükleri

Tasarım rüzgar yükleri iki ayrı birim sistemi kullanılarak ASCE 7-05 [ASCE, 2005] 'e göre şu şekilde hesaplanır:

$$p_w = (0.613K_zK_{zt}K_dV^2I)(GC_p) \quad \text{in N/m}^2 \quad (55)$$

$$p_w = (0.00256K_zK_{zt}K_dV^2I)(GC_p) \quad \text{in lb/ft}^2 \quad (56)$$

bu eşitliklerde, p_w , tasarım rüzgar basıncı, K_z , hız etki katsayısı, K_{zt} , topografi faktörü, K_d rüzgar yönü faktörü, V , temel rüzgar hızı, G , fırtına faktörü, ve C_p dış basınç katsayısıdır.

Bir kat için hız etki faktörü (K_z) katın yüksekliğine bağlı olarak aşağıda verilen eşitliklerin biri kullanılarak hesaplanır.

$$z < 15\text{ft} \quad K_z = 2.01 * (15 / z_g)^{(2 / \alpha)} \quad (57)$$

$$15\text{ft} \leq z \leq z_g \quad K_z = 2.01 * (z / z_g)^{(2 / \alpha)} \quad (58)$$

bu eşitliklerde, z_g standartlarda kullanılan atmosferik sınır katmanının nominal yüksekliğidir ve α , 3-s-fırtına hızı güç kuralı üstelidir. Şunu belirtmek gerekir ki eşitlik (57) ve (58) rüzgar basıncının yükseklikle arttığı rüzgar tarafı yüzü boyunca oluşan tasarım rüzgar basıncını bulmak için kullanılırlar. Rüzgar çıkış tarafı yüzünde negatif rüzgar basıncı büyüklüğünün sabit olduğu kabul edilir. Rüzgar çıkış tarafı yüzünde P_w 'yu hesaplamak için eşitlik (57) ve (58) 'de kullanılan K_z , eşitlik (59) 'dan hesaplanan K_h ile yer değiştirir.

$$K_h = 2.01 * (h / z_g)^{(2 / \alpha)} \quad (59)$$

bu eşitlikte, h binanın toplam yüksekliğidir.

Yapının temel rüzgar hızı $V=46.94$ m/s (105 mph) ve etki kategorisi B olan düz bir arazide bulunduğu kabul edilerek şu parametreler kullanılır ; $K_{zt} = 1.0$, $K_d = 0.85$, $I = 1.0$, $G = 0.85$ $z_g = 1200$ ft, $\alpha = 7$ ve rüzgar tarafı yüzü için $C_p = 0.8$ ve rüzgar çıkış tarafı yüzü için $C_{pe} = -0.5$. Hesaplanan rüzgâr yükleri, rüzgar tarafı ve rüzgar çıkış tarafı yüzlerinde her kat seviyesinde bulunan dış kirişlerin üzerine düzgün yayılı yanal yükler gibi uygulanırlar.

5.1.3 Deprem Yükleri

Deprem kuvvetleri ANSI/AISC 360-05 [ANSI/AISC, 2005] 'de tanımlanan eş yanal kuvvet prosedürüne göre hesaplanır. Esasen temel kesmesinin büyüklüğü hesaplanır ve her kat seviyesinde dağıtılır. Temel kesmesi şu eşitliklerin yardımı ile hesaplanır:

$$V = \frac{S_{D1}W}{T(R/I)} \quad (60)$$

$$V_{\max} = \frac{S_{DS}W}{R/I} \quad (61)$$

$$V_{\min} = 0.0441 * I * S_{DS} * W \quad (62)$$

Eşitlik (60)-(62) 'de W , yapının kalıcı ekipmanlarını ve parçalarının içeren toplam ölü yüküdür, S_{D1} , esas doğal periyodu $T=1$ sn 'ye eşit olan yapılar için tasarım deprem yoğunluğunu gösteren sismik haritalar kullanılarak hesaplanan bir faktördür. S_{D1} bu çalışmada 0.5g olarak alınmıştır. S_{DS} , esas doğal periyodu $T=2$ sn 'ye eşit olan yapılar için belirli yerlerdeki tasarım deprem yoğunluğunu gösteren sismik haritalar kullanılarak hesaplanan bir faktördür. S_{DS} bu çalışmada 1.3g olarak alınmıştır. Yapı sisteminin sismik kuvvetlere karşı koyma kabiliyeti tepki modifikasyon faktörü R ile gösterilir. R bu çalışmada 8 olarak alınmıştır. I kullanma önem faktörüdür ve bir (1) olarak alınır. Sonuç olarak yapının periyodu şu eşitlik ile hesaplanabilir;

$$T = C_T h_n^{3/4} \quad (63)$$

bu eşitlikte, C_T 0.035 olarak alınır ve h_n feet cinsinden yapının yüksekliğidir.

Eşitlik (60) ile hesaplanan temel kesmesi V_{\max} ve V_{\min} arasında olmalıdır. Aksi takdirde eşitlik (61) ve (62) ile hesaplanan sınır değerler temel kesmesi olarak alınır.

Hesaplanan temel kesmesi her kata şu eşitlik ile dağıtılır:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (64)$$

bu eşitlikte, F_x , x seviyesindeki yanal sismik kuvvettir ve w_x katın ölü ağırlığıdır ve h temelden ilgili seviyeye kadar olan yüksekliktir. Sonuç olarak $T < 0.5$ sn için $k=1$ ve $T > 2$ sn için $k=2$ 'dir. k 'nın diğer değerleri için interpolasyon uygulanır;

$$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2} \quad (65)$$

5.2 SAYISAL ÖRNEKLER

Yukarıda çözüm algoritmaları sunulan meta-bulgusal teknikler, tümü Borland Delphi kaynak koduyla derlenmiş şekilde, üç tasarım ve optimizasyon yazılımı halinde bilgisayara uyarlanmıştır. Yazılımlar, problemlerin yapısal modellerinin gösterilmesi ve üretilmesi için SAP2000v7.4 yapısal analiz programıyla otomatik şekilde etkileşim halindedir. Yazılımların hepsi optimum tasarım problemlerinin tanımlanması için aynı bütünleşik programlama birimlerini kullanırlar. Üç tasarım örneği, yani 325 elemanlı 5 katlı çerçeve yapı, 568 elemanlı 10 katlı çerçeve yapı ve 224 elemanlı 24 katlı çerçeve yapı yazılımların optimum tasarım performanslarını test etmek için kullanılmışlardır. Her örnek, tekniklerin stokastik doğalarından dolayı her çalıştırmada farklı bir sonuç tasarımı elde ederek birbirinden bağımsız şekilde beş kere tasarlanmıştır. Bu tasarımlar içinde her bir örnek için tüm yazılımlarla bulunan en iyi sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Örneklerin tümü için bütün tekniklerle oluşturulan araştırma işleminde olası en iyi tasarımın gelişimini gösteren tasarım geçmişi grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerin yatay eksenlerinde gerçekleştirilen yapısal analiz

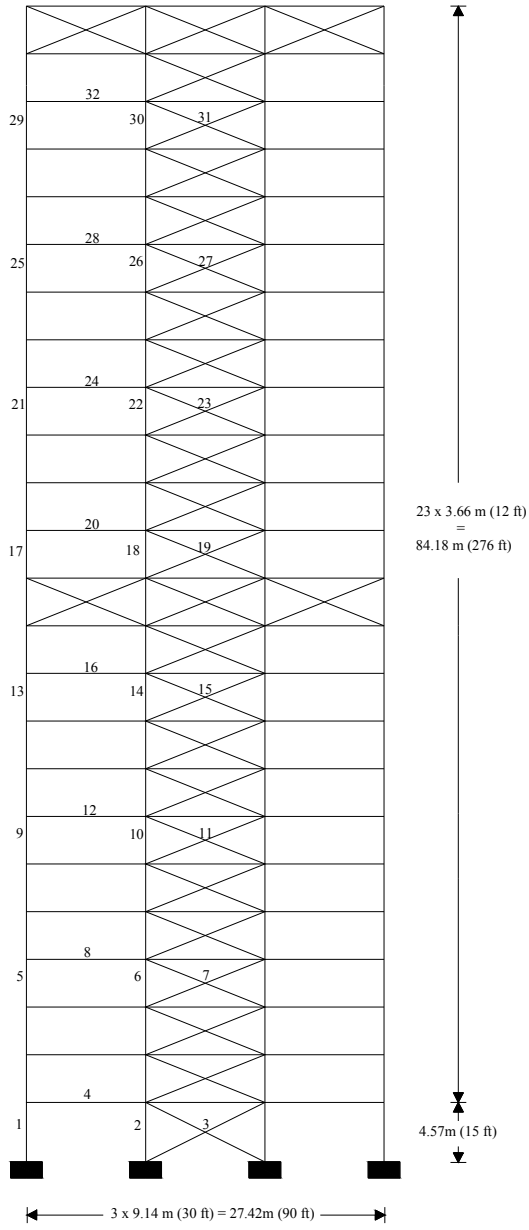
sayıları verilirken dikey eksenlerinde ise araştırmanın o anına kadar elde edilen olası en iyi tasarım ağırlığının değişimi gösterilmiştir. Tüm örnekler için yapısal analiz sayısı global optimum tasarıma denk bir tasarım elde edilecek şekilde 50000 olarak alınmıştır. Ayrıca, tüm örneklerde çelik malzemenin özellikleri; elastisite modülü (E)=29000ksi (203893.6 MPa) ve akma gerilmesi (F_y)=36ksi (253.1 MPa) olarak alınmıştır.

5.2.1 224-Elementli Çelik Uzay Çerçeve

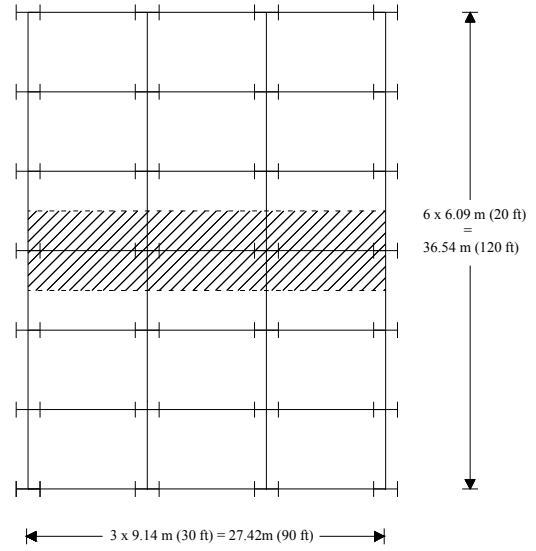
İlk örnek olarak 224 elementli, 88.75m (291ft) yüksekliğinde, 27.42m (90ft) uzunluğunda ve 100 düğüm noktasına sahip 24 katlı çerçeve yapı düşünülmüştür (Şekil 5.1). Bu örnekte, amaç fonksiyonu yapının ağırlığını minimize edecek şekilde ayarlanmıştır. Yapı elemanları, her biri bağımsız bir tasarım değişkenini temsil edecek şekilde 32 gruba ayrılmıştır. Yapının tasarımında, ayrı gruplu W-şekilli profil listesinden seçilmiş olan 297 standart çelik kesit kolonlar için, 171 standart çelik kesit kirişler için ve 147 standart çelik kesit de çapraz elemanlar için kullanılmıştır. Yapı elemanlarının gerilme ve stabilite sınırları ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamelerine göre hesaplanmıştır. Buna ilaveten, bütün düğüm noktalarının deplasmanları her yönde 4.88cm (1.92 inch) olarak sınırlandırılmıştır. Yapı yatay ve düşey yönlerde ölü, kar ve rüzgar yüklerinin değişik kombinasyonlarına maruz bırakılmıştır. Yapının en üst katında x-z doğrultusundaki kirişler 14.62 kN/m (1001.6 lb/ft) düzgün yayılı yüklere maruz bırakılmışlardır. Yapının diğer katlarındaki yüklemeler ise; x-z doğrultusundaki kirişlerde 21.22 kN/m (1453.72 lb/ft) düzgün yayılı yükleme şeklindedir. Rüzgar yükleri, ASCE7-05 [ASCE, 2005] standartlarına uygun olarak eşdeğer hesaplanmışlardır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 . 224-elemanlı 24 katlı çerçeve için rüzgar yükleri

Katlar	Kat Yüksekliği	Rüzgar Kuvveti x-z yönünde	
	m (ft)	giriş	
1	4.88 m (15 ft)	$F_1=7.51$ kN	(1.69 kips)
2	8.23 m (27 ft)	$F_2=8.59$ kN	(1.93 kips)
3	11.89 m (39 ft)	$F_3=9.64$ kN	(2.17 kips)
4	15.55 m (51 ft)	$F_4=10.47$ kN	(2.35 kips)
5	19.21 m (63 ft)	$F_5=11.16$ kN	(2.51 kips)
6	22.87 m (75 ft)	$F_1=11.75$ kN	(2.64 kips)
7	26.53 m (87 ft)	$F_1=12.28$ kN	(2.76 kips)
8	30.19 m (99 ft)	$F_1=12.76$ kN	(2.87 kips)
9	33.85 m (111 ft)	$F_1=13.20$ kN	(2.97 kips)
10	41.17 m (123 ft)	$F_1=13.60$ kN	(3.06 kips)
11	44.83 m (135 ft)	$F_1=13.97$ kN	(3.14 kips)
12	48.49 m (147 ft)	$F_1=14.33$ kN	(3.22 kips)
13	52.15 m (159 ft)	$F_1=14.66$ kN	(3.30 kips)
14	55.81 m (171 ft)	$F_1=14.97$ kN	(3.37 kips)
15	59.47 m (183 ft)	$F_1=15.27$ kN	(3.43 kips)
16	63.13 m (195 ft)	$F_1=15.55$ kN	(3.50 kips)
17	70.45 m (207 ft)	$F_1=15.82$ kN	(3.56 kips)
18	74.11 m (219 ft)	$F_1=16.09$ kN	(3.62 kips)
19	77.77 m (231 ft)	$F_1=16.34$ kN	(3.67 kips)
20	81.43 m (243 ft)	$F_1=16.58$ kN	(3.73 kips)
21	85.09 m (255 ft)	$F_1=16.81$ kN	(3.78 kips)
22	88.75 m (267 ft)	$F_1=17.03$ kN	(3.83 kips)
23	92.41 m (279 ft)	$F_1=17.25$ kN	(3.88 kips)
24	97.07 m (291 ft)	$F_1=8.73$ kN	(1.96 kips)



a) Yan görünüş



b) Plan görünüşü

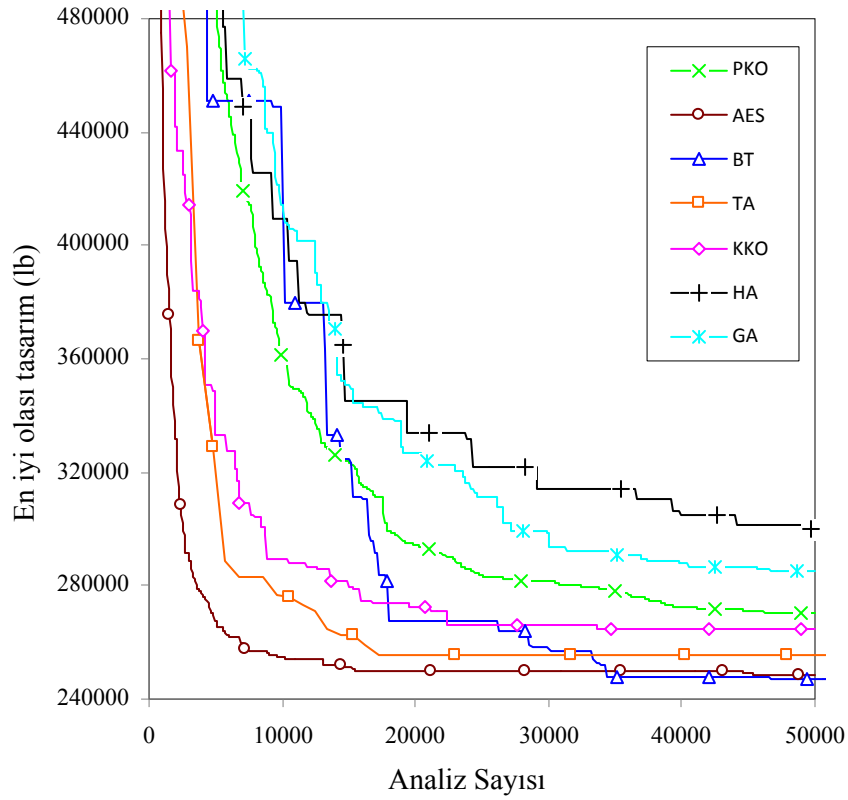
Şekil 5.1 224 elemanlı düzenli çerçeve

Tablo 5.2’de elde edilen yapı ağırlığı sonuçlarından anlaşılacağı üzere, benzetimli tavlama (BT) tekniğiyle elde edilen tasarım ağırlığı diğer teknikler ile elde edilen tasarım ağırlıklarına oranla daha hafiftir. Ayrıca Tablo 5.2 her bir eleman grubu için belirlenen hazır kesitleri de içermektedir.

Tablo 5.2 224-elemanlı 24 katlı çerçevenin optimizasyon teknikleriyle bulunan hazır kesitleri

Eleman	Her bir meta-bulgusal optimizasyon tekniğiyle bulunan tasarımlardaki hazır kesitler						
Grubu	BT	AES	TA	KKO	PKO	GA	HA
1	W14X109	W14X109	W12X120	W14X120	W27X146	W18X143	W24X146
2	W40X277	W40X277	W36X280	W40X268	W36X260	W40X328	W14X233
3	W8X40	W10X39	W8X40	W10X45	W10X39	W10X39	W10X49
4	W16X40	W16X40	W16X45	W16X40	W16X40	W16X40	W16X40
5	W14X99	W30X108	W18X106	W33X118	W18X130	W18X119	W14X109
6	W12X190	W12X210	W30X191	W40X221	W14X176	W21X201	W21X201
7	W10X39	W8X35	W8X35	W8X35	W8X35	W8X35	W10X39
8	W16X45	W14X43	W16X45	W14X43	W16X40	W16X40	W16X40
9	W14X90	W27X94	W18X97	W14X90	W21X101	W14X99	W21X101
10	W14X145	W14X145	W40X167	W33X152	W21X182	W12X152	W14X132
11	W8X31	W8X35	W10X33	W14X43	W8X401	W10X39	W12X45
12	W16X45	W14X43	W16X45	W18X50	W16X45	W16X45	W16X50
13	W30X90	W30X90	W27X94	W30X90	W21X101	W30X99	W21X147
14	W27X114	W30X116	W10X112	W27X129	W10X112	W30X235	W21X147
15	W8X40	W8X40	W10X39	W8X35	W8X35	W8X31	W14X61
16	W18X50	W18X50	W16X50	W18X60	W18X50	W24X76	W24X68
17	W10X68	W21X73	W24X76	W21X83	W12X87	W16X67	W14X82
18	W24X104	W24X104	W18X97	W24X104	W18X86	W14X99	W14X109
19	W8X31	W8X31	W8X31	W8X31	W8X31	W10X33	W10X33
20	W16X45	W14X43	W16X50	W16X40	W16X40	W14X43	W16X40
21	W14X53	W24X76	W14X53	W21X62	W24X84	W10X60	W18X71
22	W12X72	W8X31	W14X68	W21X73	W12X53	W14X74	W14X90
23	W8X31	W8X31	W8X31	W8X31	W8X31	W8X35	W8X48
24	W16X40	W16X40	W16X40	W16X40	W24X68	W18X50	W16X45
25	W16X40	W16X40	W14X43	W16X67	W21X68	W16X45	W14X74
26	W10X54	W10X49	W12X45	W12X53	W10X39	W12X53	W27X129
27	W8X31	W8X31	W8X31	W10X33	W8X31	W8X40	W12X40
28	W16X40	W16X40	W16X40	W16X40	W16X40	W16X45	W16X40
29	W8X31	W8X31	W8X35	W14X53	W24X76	W10X60	W21X83
30	W8X35	W8X35	W10X33	W12X45	W14X61	W16X67	W14X61
31	W8X31	W8X31	W10X33	W10X33	W8X31	W8X31	W10X49
32	W14X43	W14X43	W18X55	W18X55	W24X68	W24X68	W18X65
Ağırlık, lb	247053.34	248226.5	255486.55	264471.82	270204.24	285261.62	300092.65
(kg)	(112062.66)	(112595.55)	(115888.69)	(119964.42)	(122564.64)	(129394.67)	(136122.02)

Bu örnek için, geliştirilen yedi metodun tasarım geçmiş grafiği Şekil 5.2’de görülebilir. Bu şekilde, geliştirilmiş olan BT algoritmasının diğer metotlara göre optimum tasarıma daha iyi bir yakınsama yaptığı görülmektedir. Buda geliştirilmiş yedi algoritma arasında optimum sonuca ulaşmada en iyi performansı BT algoritmasının verdiğini göstermektedir.



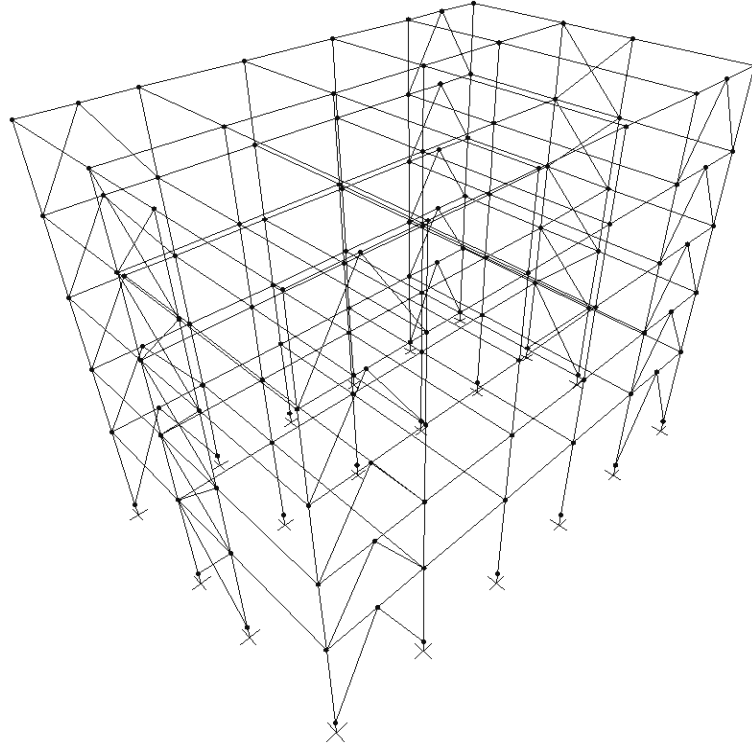
Şekil 5.2 224-elemanlı, 24 katlı çerçevenin tasarım geçmiş grafiği

5.2.2 325-Elementli Çelik Uzak Çerçeve

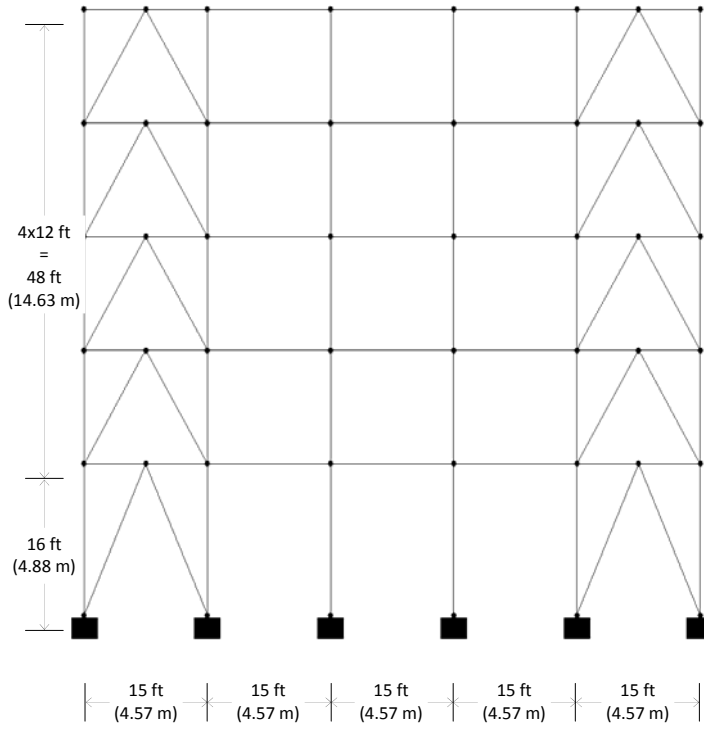
İkinci örnek olarak 325 elementli, 19.51m (64ft) yüksekliğinde, 22.86m (75ft) uzunluğunda ve 145 düğüm noktasına sahip 5 katlı çerçeve yapı düşünülmüştür (Şekil 5.3). Bu örnekte, amaç fonksiyonu yapının ağırlığını minimize edecek şekilde ayarlanmıştır. Yapı elemanları, her biri bağımsız bir tasarım değişkenini temsil edecek şekilde 21 gruba ayrılmıştır. Yapının tasarımında, ayrık gruplu W-şekilli profil listesinden seçilmiş olan 297 standart çelik kesit kolonlar için, 171 standart çelik kesit kirişler için ve 147 standart çelik kesit de çapraz elemanlar için kullanılmıştır. Yapı elemanlarının gerilme ve stabilite sınırları ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamelerine göre hesaplanmıştır. Buna ilaveten, bütün düğüm noktalarının deplasmanları her yönde 4.88cm (1.92 inch) olarak sınırlandırılmıştır. Yapı yatay ve düşey yönlerde ölü, kar, hareketli ve deprem yüklerinin değişik kombinasyonlarına maruz bırakılmıştır. Yapının en üst katında x-z doğrultusundaki dış kirişler 5.54 kN/m (379 lb/ft), y-z doğrultusundaki dış kirişler ise büyük açıklıkta 7.61 kN/m (521.67 lb/ft) ve küçük açıklıkta 6.38 kN/m (437.36 lb/ft) düzgün yayılı yüklere, iç kirişler ise x-z doğrultusunda 11.07 kN/m (758.80 lb/ft), y-z doğrultusunda da büyük açıklıkta 15.23 kN/m (1043.34 lb/ft) ve küçük açıklıkta da 12.77 kN/m (874.72 lb/ft) düzgün yayılı yüklere maruz bırakılmışlardır. Yapının diğer katlarındaki yüklemeler ise; x-z doğrultusundaki dış kirişlerde 8.03 kN/m (550 lb/ft), y-z doğrultusundaki dış kirişler ise büyük açıklıkta 11.05 kN/m (757.14 lb/ft) ve küçük açıklıkta 9.27 kN/m (634.99 lb/ft) düzgün yayılı yük, iç kirişler ise x-z doğrultusunda 16.07 kN/m (1101.30 lb/ft), y-z doğrultusunda da büyük açıklıkta 22.1 kN/m (1514.28 lb/ft) ve küçük açıklıkta da 18.53 kN/m (1269.98 lb/ft) düzgün yayılı yükleme şeklindedir. Bunun yanı sıra, daha gerçekçi olabilmek için yapıda her katın ağırlık merkezine yatay olarak etkiyen ve en alt katta sıfır en üst katta ise maksimum deplasmana sebep olan deprem kuvvetleri uygulanmıştır. Deprem kuvvetleri, ASCE7-05 [ASCE, 2005] standartlarına uygun olarak eşdeğer kuvvet prosedürüne göre hesaplanmışlardır (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. 325 elemanlı 5 katlı çerçeve için tasarım sismik kuvvetleri

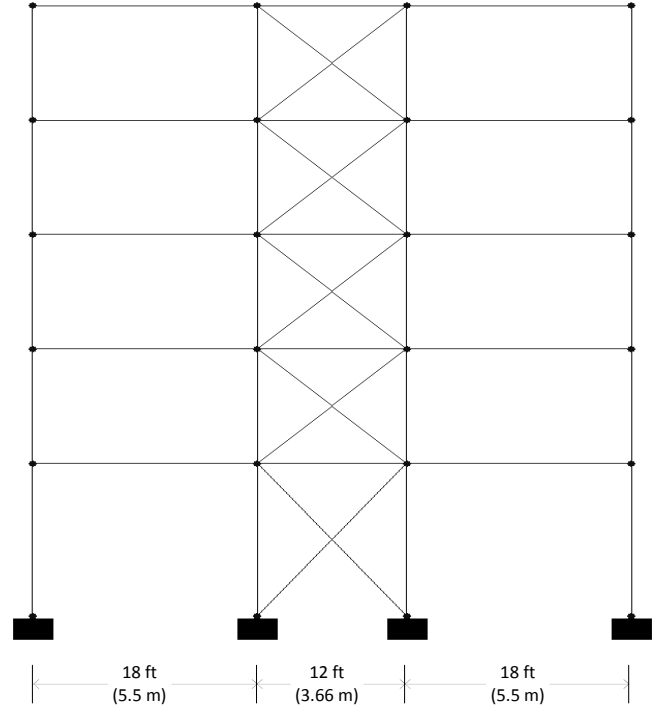
Katlar	Kat Yüksekliği	Tasarım Sismik Kuvveti F_x
	m (ft)	kN (kips)
1	4.88 m (16 ft)	$F_1=20.99$ kN (4.72 kips)
2	8.54 m (28 ft)	$F_2=39.86$ kN (8.96 kips)
3	12.19 m (40 ft)	$F_3=60.01$ kN (13.49 kips)
4	15.85 m (52 ft)	$F_4=81.05$ kN (18.22 kips)
5	19.51 m (64 ft)	$F_5=102.80$ kN (23.12 kips)



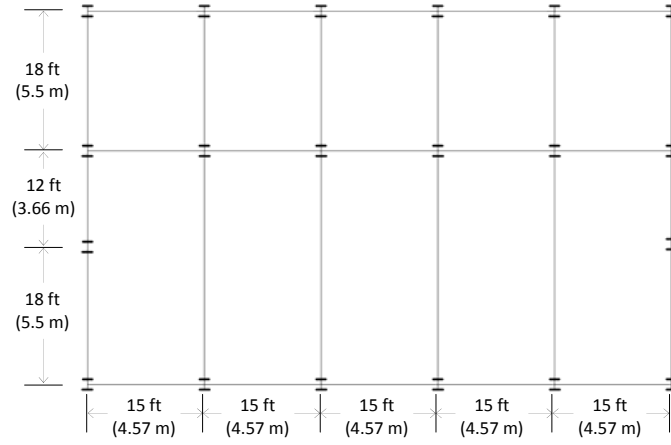
a) Üç boyutlu görünüş



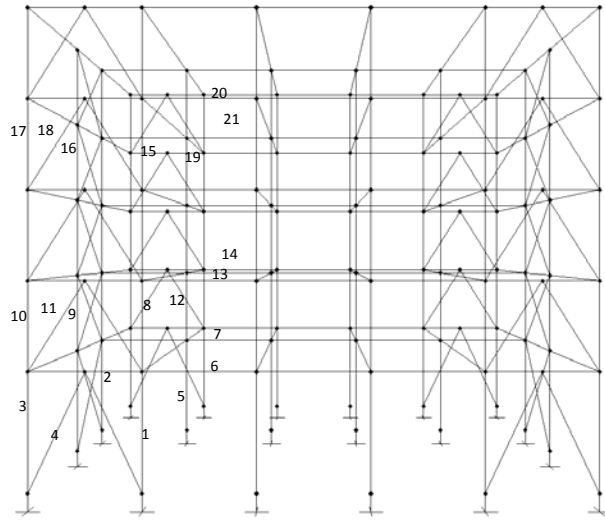
b) Ön görünüş



c) Yan görünüş



d) Plan görünüşü



e) Eleman gruplandırması

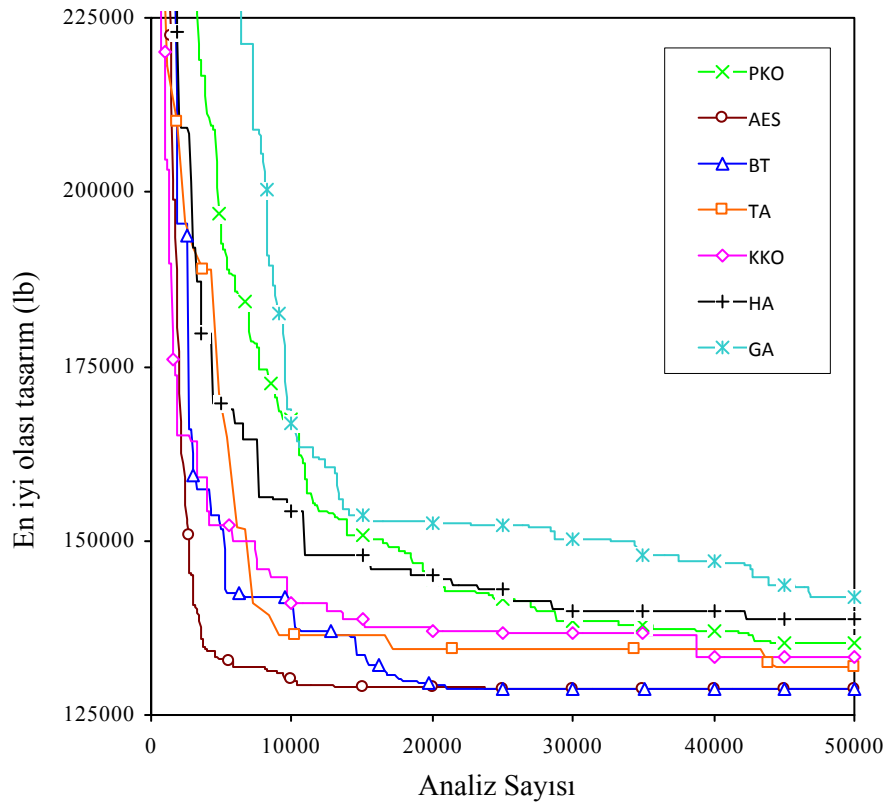
Şekil 5.3. Çerçevenin görünüşleri

Tablo 5.4 325 elemanlı 5 katlı çerçevenin optimizasyon teknikleriyle bulunan hazır kesitleri

Eleman Grubu	Her bir meta-bulgusal optimizasyon tekniğiyle bulunan tasarımlardaki hazır kesitler						
	AES	BT	TA	KKO	PKO	HA	GA
1	W8X40	W18X40	W12X35	W16X57	W18X55	W18X60	W12X30
2	W8X24	W8X24	W8X24	W6X25	W16X40	W12X50	W18X40
3	W21X62	W18X60	W12X53	W21X68	W14X61	W14X61	W24X68
4	W6X15	W6X15	W6X20	W6X15	W6X15	W8X18	W5X19
5	W18X50	W16X45	W18X50	W8X40	W12X40	W16X45	W14X43
6	W12X14	W12X14	W10X17	W12X14	W12X16	W10X15	W10X19
7	W18X40	W18X40	W18X40	W21X44	W21X44	W18X40	W18X46
8	W8X18	W8X24	W8X21	W8X24	W8X18	W16X31	W10X26
9	W8X18	W14X22	W6X15	W8X21	W10X22	W14X30	W14X22
10	W12X50	W12X50	W14X53	W14X48	W16X50	W12X53	W12X50
11	W6X15	W6X15	W6X15	W6X15	W6X15	W6X15	W6X20
12	W21X44	W21X44	W18X46	W16X50	W8X48	W12X50	W18X46
13	W12X14	W12X14	W12X16	W12X14	W12X44	W12X16	W12X19
14	W18X40	W18X40	W18X40	W18X40	W21X44	W18X40	W18X40
15	W8X13	W8X13	W8X15	W8X15	W8X18	W8X15	W12X19
16	W12X14	W12X14	W12X14	W12X19	W12X14	W12X16	W8X24
17	W14X34	W14X34	W16X36	W14X34	W16X36	W10X33	W12X35
18	W6X15	W6X15	W5X16	W6X15	W6X15	W6X15	W6X20
19	W14X34	W14X34	W14X34	W14X34	W16X36	W12X45	W14X30
20	W12X14	W12X14	W12X14	W12X16	W12X14	W12X14	W12X16
21	W18X40	W18X40	W18X40	W18X40	W18X40	W18X40	W21X44
Ağırlık, lb (kg)	128637.77 (58349.11)	128788.82 (58417.63)	131782.50 (59775.54)	133330.09 (60477.51)	135185.87 (61319.28)	138830.09 (62972.27)	141846.24 (64340.37)

Tablo 5.4'den kolayca anlaşılabileceği üzere, benzetimli tavlama (AES) tekniğiyle elde edilen tasarım ağırlığı diğer metotlar ile elde edilen tasarım ağırlıklarına nispeten oldukça hafiftir. Ayrıca Tablo 5.4 her bir eleman grubu için belirlenen hazır kesitleri de içermektedir.

Bu örnek için, geliştirilen üç metodun tasarım geçmiş grafiği Şekil 5.4'de görülebilir. Bu şekilde, geliştirilmiş olan AES algoritmasının diğer metotlara göre optimum tasarıma daha iyi bir yakınsama yaptığı görülmektedir. Buda geliştirilmiş üç algoritma arasında optimum sonuca ulaşmada en iyi performansı AES algoritmasının verdiğini göstermektedir.

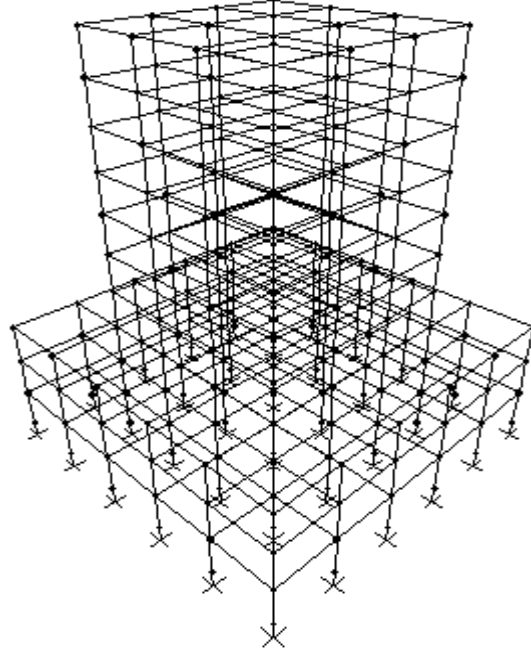


Şekil 5.4 325 elemanlı, 5 katlı çerçevenin tasarım geçmiş grafiği

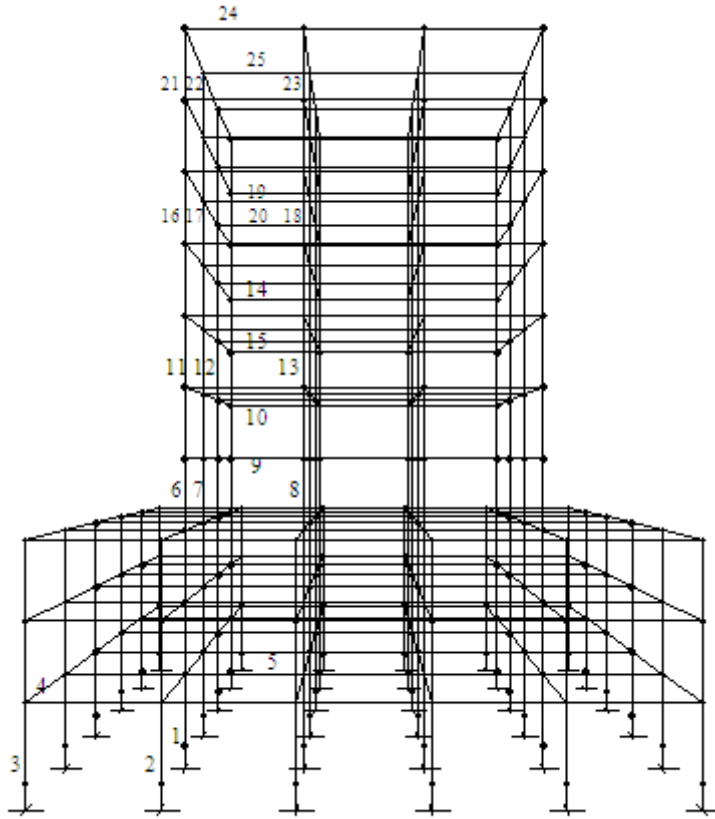
5.2.3 568-Elementli Çelik Uzak Çerçeve

Şekil 5.5 'de yüksekliği 120 ft olan ve her biri 20 ft uzunluğa sahip beş açıklıktan oluşan 10 katlı 568 elementli çelik çerçevenin geometrisi görülmektedir. Çerçeve, element kesit alanları tasarım değişkenleri olarak kabul edilerek minimum ağırlık için optimize edilecektir. 568 elementli bu çerçeve ilk üç kat daha sonra her iki katta bir ve en son kat için elementlerin köşe kolon iç kolon dış kolon iç kiriş ve dış kiriş oluşu dikkate alınarak 25 gruba ayrılmıştır. Tek yükleme durumu dikkate alınmıştır öyle ki bu yükleme, döşeme yükü, rüzgar yükü ve kar yükü kombine edilerek rüzgar yükleri kenar kirişlerine ve döşeme yükü ile kar yükü ise elementlere yayılı yük olarak etkiyecek şekildedir. Buna göre ilk ve orta katlar için iç kirişlere 10.71kN/m dış kirişlere 21.43kN/m en üst kat için ise iç kirişlere 7.38kN/m dış kirişlere 14.77kN/m yayılı yük gelmektedir. Rüzgar yükleri Tablo 5.5 'de verilmiştir. Tasarım değişkenlerinin boyutlandırılması amacıyla, eylemsizlik yarıçapı ve kesit alanı özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmış W-şekilli ekonomik standart çelik profiller kullanılmıştır. Elementlerin gerilme ve stabilite sınırlamaları ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamelerine göre belirlenmiştir. Buna ilaveten bütün noktaların her yöndeki deplasmanları yapı yüksekliğinin 1/400 'üne denk gelen maksimum değer olan 3.6 inch (9.14cm) ile sınırlandırılmıştır.

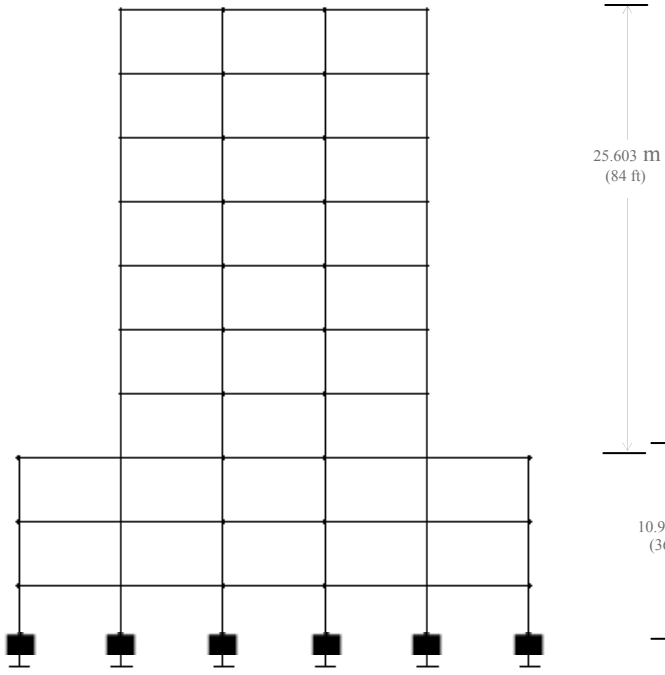
568 elementli çelik çerçeve, Ayrık Evrimsel Stratejiler yöntemine ilaveten en başta olarak yukarıda anlatılan ilk üç optimizasyon tekniği kullanılarak ayrı ayrı beş kere dizayn edilmiş ve elde edilen en iyi minimum ağırlıklara ait değişim grafikleri Şekil 5.6 'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere en hafif tasarımı 503953,63lb ile Evrimsel stratejiler yöntemi vermiştir. Bu tasarım için her gruba ait kesit ataması Tablo 5.5 de gösterilmiş ve söz konusu tasarım problemi için optimum çözüm olarak kabul edilmiştir. En hafif ikinci tasarımı 518458.35lb ile Tabu Arama yöntemi vermiştir. En iyi üçüncü tasarım 526370.76lb ile Benzetimli Tavlama yöntemine ait olup en kötü tasarımı 571159.66lb ile Harmoni Arama yöntemi vermiştir.



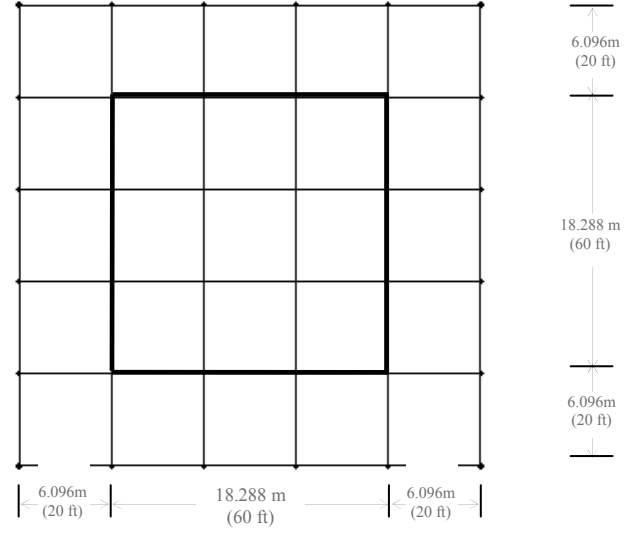
a) Üç boyutlu görünüş



b) Eleman gruplandırması



c) Yan görünüş

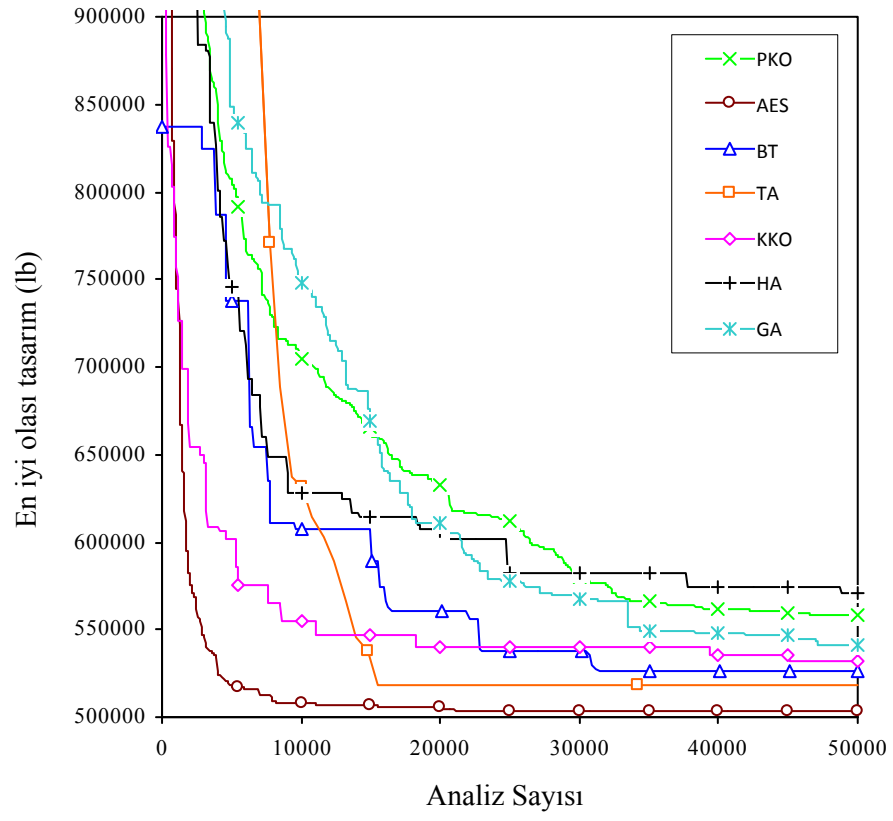


d) Üst görünüş

Şekil 5.5 568-elemanlı uzay çelik çerçevenin görünüşleri

Tablo 5.5 568-elemanlı 10 katlı çerçeve için rüzgar yükleri

Katlar	Kat Yüksekliği m (ft)	Rüzgâr Kuvveti x-z yönünde giriş
1	3.66 m (12 ft)	$F_1=1.64 \text{ kN/m}$ (0.11 kips/ft)
2	7.32 m (24 ft)	$F_2=1.88 \text{ kN/m}$ (0.13 kips/ft)
3	10.98 m (36 ft)	$F_3=2.11 \text{ kN/m}$ (0.14 kips/ft)
4	14.64 m (48 ft)	$F_4=2.29 \text{ kN/m}$ (0.16 kips/ft)
5	18.30 m (60 ft)	$F_5=2.44 \text{ kN/m}$ (0.17 kips/ft)
6	21.96 m (72 ft)	$F_1=2.57 \text{ kN/m}$ (0.18 kips/ft)
7	25.62 m (84 ft)	$F_1=2.69 \text{ kN/m}$ (0.18 kips/ft)
8	29.28 m (96 ft)	$F_1=2.79 \text{ kN/m}$ (0.19 kips/ft)
9	32.94 m (108 ft)	$F_1=2.89 \text{ kN/m}$ (0.20 kips/ft)
10	36.60 m (120 ft)	$F_1=1.49 \text{ kN/m}$ (0.10 kips/ft)



Şekil 5.6 568 elemanlı çerçevenin tasarım geçmiş grafiği

Tablo 5.6 568 elemanlı uzay çelik çerçevenin optimizasyon teknikleriyle bulunan hazır kesitleri

Eleman Grupları	Her bir meta-bulgusal optimizasyon tekniğiyle bulunan tasarımlardaki hazır kesitler						
	AES	TA	BT	KKO	GA	PKO	HA
1	W14X193	W14X193	W14X193	W14X193	W14X193	W14X159	W14X176
2	W8X48	W8X48	W8X48	W8X48	W8X48	W24X76	W12X53
3	W10X39	W8X40	W8X40	W10X45	W10X39	W10X39	W8X40
4	W10X22	W10X22	W10X22	W10X22	W10X26	W10X22	W10X22
5	W21X50	W21X50	W21X44	W21X50	W21X50	W24X55	W24X55
6	W10X54	W10X54	W12X65	W14X61	W18X76	W12X72	W24X117
7	W14X109	W14X120	W14X145	W14X120	W14X109	W27X146	W24X146
8	W14X176	W14X159	W14X145	W40X192	W40X192	W27X217	W40X199
9	W18X40	W21X44	W24X68	W18X35	W18X40	W18X40	W21X44
10	W18X40	W18X40	W24X55	W18X40	W21X50	W18X40	W18X40
11	W10X49	W10X45	W10X49	W12X58	W12X65	W18X71	W27X94
12	W14X90	W14X90	W14X90	W12X96	W21X111	W21X101	W14X120
13	W14X109	W12X120	W14X120	W12X136	W12X152	W14X176	W14X120
14	W14X30	W21X44	W16X36	W12X30	W12X30	W14X34	W12X30
15	W16X36	W16X36	W16X40	W21X44	W16X40	W21X44	W18X40
16	W12X45	W10X33	W12X40	W8X58	W14X68	W12X65	W27X94
17	W12X65	W12X65	W12X65	W18X76	W18X76	W10X68	W18X97
18	W10X22	W14X34	W12X26	W12X35	W8X28	W12X35	W12X30
19	W12X79	W12X79	W12X72	W10X88	W10X88	W12X79	W10X88
20	W14X30	W14X30	W16X36	W14X30	W16X36	W14X38	W18X35
21	W8X35	W10X39	W8X24	W8X58	W8X48	W10X39	W12X72
22	W10X39	W12X45	W10X49	W8X40	W14X34	W8X31	W10X45
23	W8X31	W12X35	W8X24	W8X31	W12X30	W12X96	W14X132
24	W8X18	W6X20	W12X26	W8X24	W8X21	W12X26	W18X35
25	W14X30	W12X26	W12X26	W16X45	W18X35	W12X26	W16X36
Ağırlık, lb	503953.63	518458.35	526370.76	532353.70	541380.54	558346.15	571159.66
(kg)	(228588.33)	(235167.52)	(238756.51)	(241470.31)	(245564.80)	(253260.23)	(259072.31)

BÖLÜM 6

PARALEL ALGORİTMA VE PARALEL HESAPLAMA SİSTEMİ

6.1 GİRİŞ

Daha önce belirtilen ayırık evrimsel stratejiler yönteminde kullanılan çözüm algoritmasının sıralı versyonu Borland Delphi kaynak kodunda yazılmıştır. Sonuçta oluşan yazılım; problemlerin yapısal çelik çerçeve modellerinin gösterilmesi kadar üretilen her bir tasarım için optimizasyon süreci sırasında uygulanan deplasmana dayalı sonlu elemanlar analizi, SAP2000v7.4 yapısal analiz programıyla otomatik şekilde etkileşim halindedir. Daha sonra tek işlemcinin hesap yükünü, uygulamaya dâhil edilen istenilen sayıda işlemci arasında paylaşmak ve böylece çözüm zamanını önemli ölçülerde azaltmak amacıyla her biri tek çekirdekli işletim sistemine sahip “master-slave” ilişkisi göz önüne alınarak oluşturulan paralel algoritma modeli bilgisayar kümesi geliştirilir. Algoritmanın uygulanan bu etkili hesap yolu; yüksek ölçekli yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında kayıpsız kesin hesapları için garantiye alma anlamındadır. Optimizasyon algoritmalarının paralelleştirilmesi için değişik donanım ve yazılım teknolojilerinin mevcut olduğunun dikkate alınması gerekmektedir. İlerleyen alt başlıklarda çok işlevli çevresel paralel algoritma olan “master-slave” konfigürasyonunun yanı sıra onun için kurulan paralel hesaplama sisteminin detayları sunulacaktır.

6.1.1 Donanım Teknolojileri

Algoritmanın entegre edilen paralel versiyonu MPI (Message Passing Interface); çok çekirdekli paylaşılan hafıza sistemleri (SMP) tarafından değişik hesaplama ve iletişim platformlarında yüzlerce işlemci ile yüksek hızlı ağı oluşturma amacıyla uygulanabilir. Bu çalışmada kullanılan küme hesaplama sistemi; Intel Core2 Quad Q9300 işlemciye sahip, 2.5 GHz hızında ve 3.23GB RAM kapasiteli sekiz uzak bağlantılı gigabit yoluyla yerel alan ağına

bağıntılı bilgisayarlardan oluşmaktadır. Çalışmadaki bütün bilgisayarlar Windows XP işletim sistemini kullanmaktadır. Kümedeki her bir çekirdek ayrılmış işletme elementi olarak kullanılır ve bu yüzden küme 32 farklı işlemcinin hepsi aynı zamanda çalışır.

6.1.2 Yazılım Teknolojileri

MPI (Message Passing Interface), bir paralel hesaplama sistemi içinde işlemciler arası iletişimi sağlamak amacıyla kullanılan en popüler iletişim arayüzüdür. MPICH2 [MPICH2 Library, 2009]; MPI standartının yüksek performanslı ve yaygın uygulanmasında kullanılır. Algoritmanın sıralı versiyonu Borland Delphi kaynak kodu ile geliştirilmiştir. Programlama dili MPICH2 yâda herhangi bir MPI uygulaması tarafından normal olarak desteklenmemektedir. MPI uygulamasını yapmak amacıyla Lazarus Projesi [Lazarus Project, 2009] (Delphi benzetimli serbest bir takım Pascal kütüphane) tarafından sağlanan MPICH2 için özel Pascal bağlantıları algoritmanın gereksinimlerine göre gözden geçirilip düzeltilir. İlk olarak Shiva olarak adlandırılan kütüphaneye yönlendirilmiş bir nesne FORTRAN tipi fonksiyon başlıkları ve Delphi çevresine yönlendirilmiş nesneyi sıra ile bağlayıcılığını sağlamak amacıyla yazılır. Bu kütüphane MPI bağlayıcısı C++ ile eşdeğerdir ve herhangi Delphi projesi ile paralel programlama rutinlerinin uygulamalarını sağlamak amacıyla temel sınıflar sağlar. Düşük seviyeli paralelleştirme kodunun programı olan bu yol elde edilen esneklik ve kolaylaştırma ile kaynak kodunun yanlışları ayıklanmış şekilde yüksek seviyeli optimizasyon kodundan ayrılır.

6.1.3 Paralel Algoritma

Çözüm algoritması içine entegre edilmiş ayrık evrimsel stratejiler yöntemi, Bölüm 2 de ayrıntılı açıklandığı üzere tasarım popülasyonunun üzerinde seçilen üretimleri sayısı değerlendirme temelindeki yinelenen prosedürü kullanır. Bu prosedürün her bir tekrarlamasında tasarım popülasyonu ilk olarak bağlayıcı bir cevap ile değerlendirilir (Adım 2) ve her bir tasarım için uygulanan sınırlayıcı fonksiyon hesaplamaları ve sonra yeniden birleşimin seri bir uygulaması, mutasyon ve seçenel operatörleri (Adım 3-5) gelecek üretimin bireylerini oluşturmak amacıyla meydana getirir. Adım 2'nin 100 ile 1000 aralıkları arasında seçilen oluşturulmuş test problemleri için algoritmanın sıralı uygulamaları içinde bütün hesaplamalı değerin en az 90-98 % katkı sağladığı yazarlar tarafından doğrulanmıştır. Bu

yüzden çözüm algoritmasının etkili ve yeterli paralelizasyonu sadece bu adım için kaynak kodunun içindeki oluşturulmuş birden fazla işlem yapılan bölgelerde sonuçlandırılabilir ve bu sayede bir paralel hesaplama çevresindeki sayı kadar işlemci eş zamanlı olarak yönetilebilir.



Şekil 6.1 Paralel Algoritmanın Akış Şeması

Sıralı algoritma, paralel programlama yapısına dayalı master-slave konfigürasyonunu başarıyla uygulamak amacıyla ardarda ve paralel kod segmentlerinin sayısını yeniden organize eder. Arda arda dizilmiş kod segmentleri sadece master işlemci tarafından ulaşılabilir ama kapsanmış paralel kodlar içindeki çok işlevli döngüler master ve slave işlemcileri tarafından birlikte yerine getirilir. Ayrıntılı sıralı kod segmentleri ağ içindeki koordinasyon, iletişim ve senkronizasyonun olanak sağlanması için master işlemcisi tarafından yazılır. Çözüm algoritmasının paralel uygulaması Şekil 6.1 'de şematik olarak anlatılmıştır. Buna göre, önce algoritma başlatılır, master işlemcisi tarafından tanımlanan yapı modelinin giriş verileri ve problemin sınırlayıcı parametreleri bütün slave işlemcilere dağıtılır. Sonra, başlangıç popülasyonu master işlemci tarafından tasarım ve strateji parametrelerinin rastgele başlangıçlarına dayalı olarak üretilir (Adım 1). Daha sonra, master işlemci bütün slave işlemcilerini tasarım popülasyonunun değerlendirmesini toplu halde ve eş zamanlı olarak uygulamak için çağırır (Adım 2). Tasarımların eşit sayısı paralel hesaplama sistemi içinde her bir işlemciye master işlemci tarafından atanır. Her işlemci (master işlemci dâhil)

atanan tasarımların altkümeleri için SAP2000v7.4 [SAP2000 Design Manual v7, 1997] yapı analiz programı ile birlikte yanıt ve sınırlayıcı fonksiyon hesaplamalarını üstlenir. Analiz ve değerlendirmelerin sonuçları yalnız nümerik değerler içinde bireylerin amaç fonksiyon verileri olarak slave işlemcilerden master işlemcilere yansıtılır. Master işlemci paralel hesaplama sistemi içindeki her bir işlemci kendi görevini tamamlayana kadar bekler. Sonra, slave işlemciler yeni neslin işleyişi için adım 2'ye kadar bekleyiş sürecinde iken yeni neslin tasarım popülasyonunun verimi açısından sıralı kural içinde evrimsel operatörlerin uygulanması amacıyla (Adım 3, 4 ve 5) master işlemci analizi devam eder.

6.1.4 Paralel Uygulama

Paralel algoritmanın uygulaması için işlemcilerin hepsi yâda seçilen biri başlangıçta atanır ve yazılımın kopyası dağıtılan MPICH2 [MPICH2 Library, 2009] 'nin özel işleyiş yöneticilerinin üstünlüğü her bir işlemci için uygulanır. Her bir kopya 0 ile $N_p - 1$ arasındaki değişik kimlik numaraları ile tanımlanır. Burada N_p paralel uygulamak için tahsis edilen işlemcilerin toplam sayısını ifade eder. Master işlemci her zaman 0 kimlik numara ile kopya uygular ama slave bilgisayarlar 1 ile $N_p - 1$ arasındaki kimlik numaralı kopyalarla eşleşirler. Paralel programlama ile kazanılan zaman kullanılan işlemcilerin sayısını ölçeklendirdiği kadar paralel giderlerin minimuma indirgemesini işlemciler arasındaki veri senkronizasyonu ve iletişimlerinde sağlar. Paralel algoritma için kurulan kümelenmiş hesaplama sisteminin aynı türden oluşan bilgisayar ve işlemciler ile hesaplamalı yapılabirlikleri eşdeğerdir. Bu sayede ağdaki en iyi performans işlemcilere mümkün olduğu kadar eşit bir şekilde dağıtılır. Aynı türden sistemler için ağırlıkların bilgisayarların hızlarına olan katkısı algoritmanın etkili hesap uygulamasının devamı amacına göre bireylere bölünmesi amacıyla hesaba alınmalıdır.

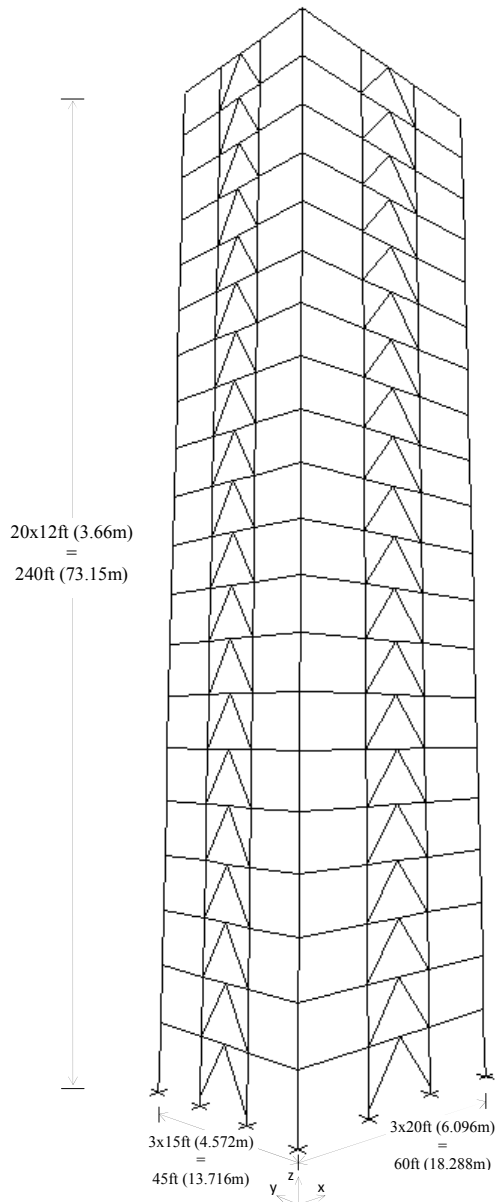
6.2. SAYISAL ÖRNEKLER

Geliştirilen paralel algoritmanın etkinliğini göstermek amacıyla üç tasarım örneği çok katlı çelik yapıların optimum boyutlandırılmasında çalışılmıştır. Bu örnekler 60 gruptan oluşan ve 1040 üyeli çelik uzay çerçeve, 109 gruptan oluşan ve 3590 elemanlı çelik uzay çerçeve ve son olarak 198 gruptan oluşan ve 7648 elemanlı çelik uzay çerçevedir. Yapının tasarımında, ayrık gruplu W-şekilli profil listesinden seçilmiş olan 297 standart çelik kesit kolonlar için, 171 standart çelik kesit kirişler için ve 147 standart çelik kesit de çapraz elemanlar için kullanılmıştır. Çelik malzemenin özellikleri; elastisite modülü (E)=29000ksi (203893.6 MPa) ve akma gerilmesi (F_y)=36ksi (253.1 MPa) olarak alınmıştır.

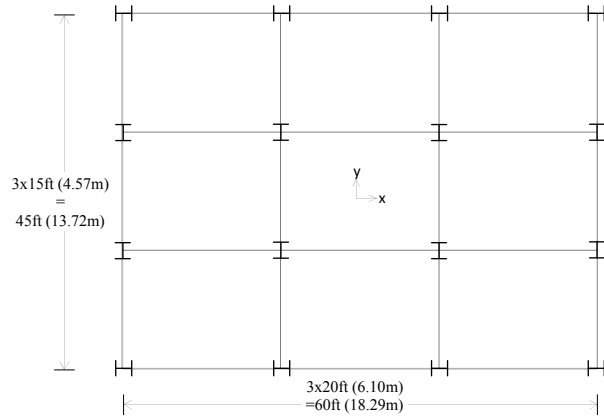
32 işlemciden oluşan küme hesaplama sistemi paralel algoritma uygulaması için tasarım örneklerinin çözümünde kullanıldı. Aynı zamanda kullanılan işlemci sayısına göre sistemin performansındaki değişim her bir tasarım örneği için çalışılmıştır. Etkin optimum boyutlandırma için evrimsel stratejiler yönteminin parametre değerleri sırasıyla şöyledir: popülasyon parametreleri ($\mu = 10, \lambda = 60$), strateji parametrelerinin başlangıç değerleri ($p^{(0)} = 0.25, \psi_i^{(0)} = 20$), ve maksimum üretim sayısı Tüm örnekler için yapısal analiz sayısı global optimum tasarıma denk bir tasarım elde edilecek şekilde 60000 olarak alınmıştır.

6.2.1 1040-elemanlı Çelik Uzay Çerçeve

İlk tasarım örneği 20 katlı, 416 düğüm noktası ve 1040 elemandan oluşan çapraz bağlantılı çelik uzay çerçevedir. Şekil 5.2’de yapının üç boyutlu bakışı ve plan bakışı gösterilmiştir. Uzay çerçeve yapı, binanın ön yüzündeki orta açıklıkta bulunan K-tipi çapraz bağlantı elemanları ile yanal kuvvetlere karşı dayanıklılığı arttırılmıştır. Bir kattaki kolonlar köşe kolonları, içerideki kolonlar ve dışarıdaki kolonlar olmak üzere üç grup halinde toplanmışlardır.



a) 3-Boyutlu Bakış



b) Plan Bakışı

Şekil 6.2 1040-elemenli çelik uzay çerçeve a) 3-Boyutlu Bakış, b) Plan Bakışı.

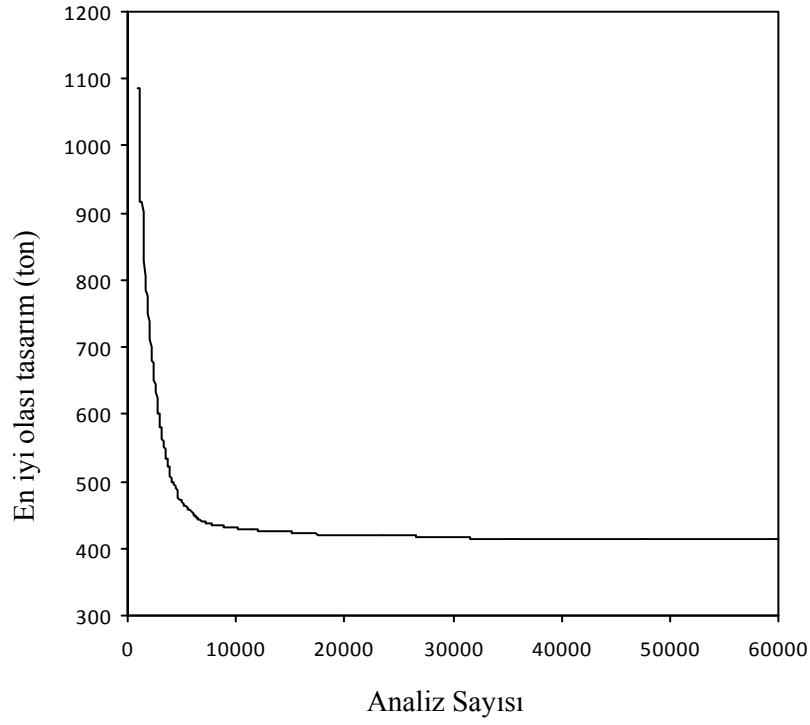
Kirişler ise içerideki ikirişler ve dışarıdaki kirişler olmak üzere iki grup halinde bölümlendirilmişlerdir. Köşe kolonları bitişik iki katta bir aynı kesite sahip olarak birlikte gruplandırılır. Aynı şekilde içerideki kolonlar, dışarıdaki kolonlar, dışarıdaki kirişler ve içerideki kirişlerde aynı kesite sahip olacak şekilde iki katta bir gruplandırılırlar. Bu; 60 bağımsız eleman grubu ile sonuçlanır. Birleşik gerilme ve stabilite sınırlayıcıları ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamesine göre etkilmiştir. Ayrıca x ve y yönlerindeki

bütün düğüm noktalarındaki deplasmanlar 18.29 cm (7.2 in) ile, katlar arası kayma üst limiti ise 0.91 cm (0.36 in) ile sınırlandırılmıştır. Düğüm noktalarının her birindeki kiriş ve kolon elemanları arasındaki geometrik sınırlayıcılar elde edilen çözümün uygulanabilirliği Bölüm 3 'de belirtildiği gibi ile ilişkilendirilmiştir.

Tablo 6.1 1040-elemanlı çelik uzay çerçevenin optimum boyutlandırılması

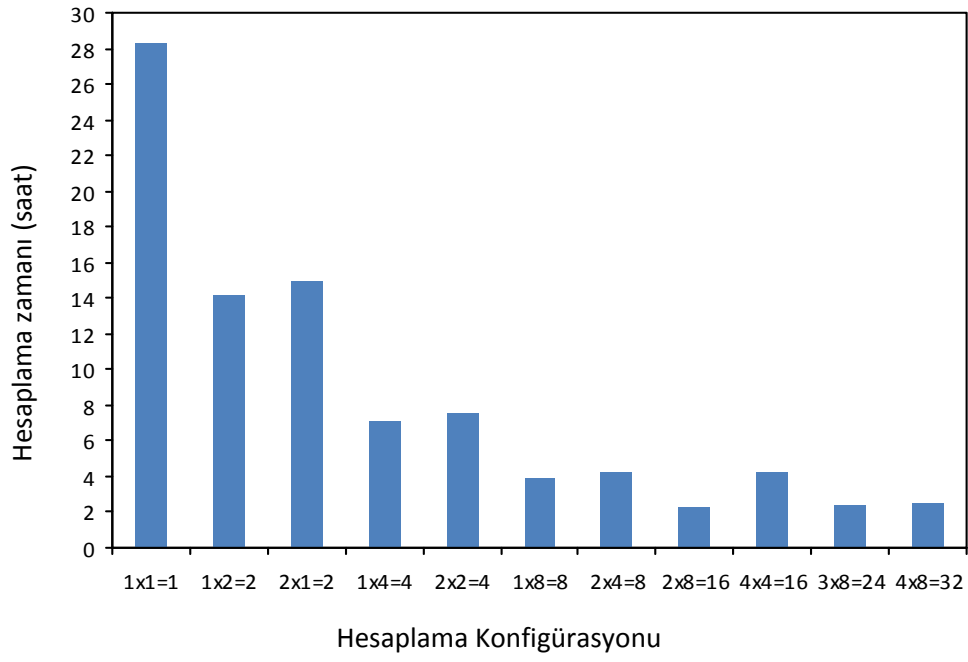
Katlar	Eleman Grubu	Hazır Kesit	Katlar	Eleman Grubu	Hazır Kesit
1-2	CC*	W12X106	3-4	CC	W30x90
	IC*	W40X362		IC	W40x268
	OC*	W14X233		OC	W14x211
	IB*	W24X62		IB	W16x40
	OB*	W8X18		OB	W10x22
	BR*	W12X40		BR	W8x40
5-6	CC	W18x97	7-8	CC	W14x90
	IC	W44x224		IC	W44x224
	OC	W14x211		OC	W21x166
	IB	W30x108		IB	W16x50
	OB	W12x26		OB	W18x35
	BR	W8x31		BR	W12X26
9-10	CC	W14X109	11-12	CC	W12X72
	IC	W40X221		IC	W40X149
	OC	W14X132		OC	W14X120
	IB	W16X50		IB	W18X60
	OB	W21X44		OB	W12X26
	BR	W6X20		BR	W10X22
13-14	CC	W14X90	15-16	CC	W14X90
	IC	W18X106		IC	W30X99
	OC	W12X106		OC	W14X74
	IB	W21X44		IB	W16X36
	OB	W18X35		OB	W16X40
	BR	W6X15		BR	W6X15
17-18	CC	W10X39	19-20	CC	W10X33
	IC	W24X62		IC	W16X36
	OC	W12X58		OC	W10X49
	IB	W14X34		IB	W14X30
	OB	W16X36		OB	W10X33
	BR	W4X13		BR	W14X13
Ağırlık: 412.91 ton (910.30 kips)					

* CC: Köşe Kolonları, IC: İç Kolonlar, OC: Dış Kolonlar, IB: İç Kirişler, OB: Dış Kirişler, BR: Çapraz Bağlantı Elemanları

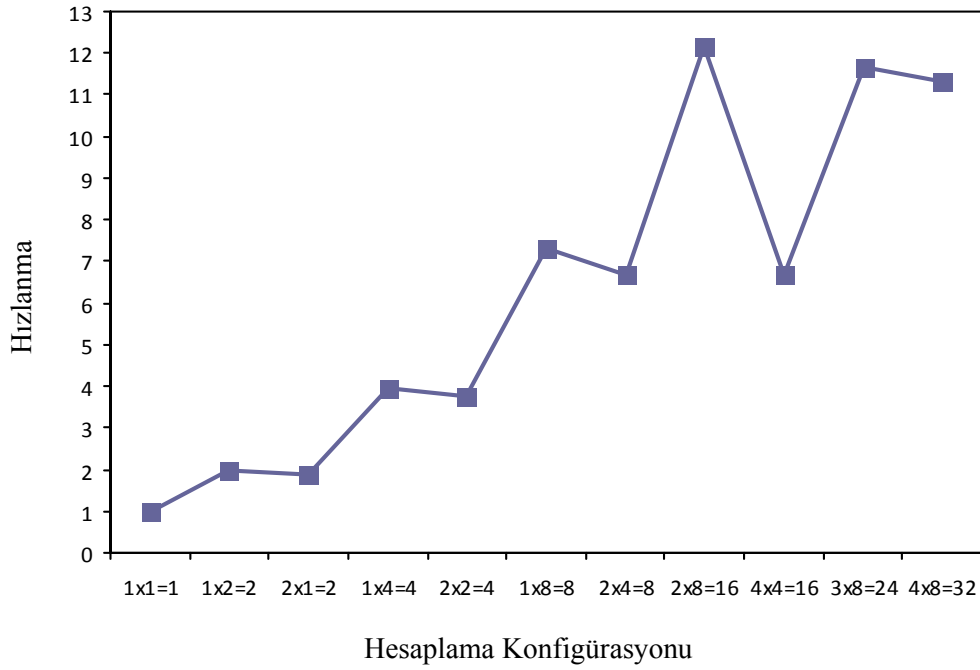


Şekil 6.3 1040-elemanlı çelik uzay çerçevenin tasarım geçmişi grafiği

Çerçeve minimum ağırlık tasarımı 32 işlemcili paralel hesaplama sisteminde üç adet iterasyon işlemi yapmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. 60000 çerçeve analizi dikkate alındığında her bir iterasyon işleminin ortalama 2 saat 30 dakika sürdüğü gözlemlenmiştir. Uygulanan bu ayrık evrim strateji yönteminin stokastik doğası nedeniyle, algoritma üretilen sayı serisine bağlı olarak farklı yapı ağırlıkları verme eğilimindedir. Bu nedenle, belirli bir çekirdek rastgele sayı kümesi kabul edilerek farklı hesaplama sisteminlerinin işlem kabiliyetinin test edilmesi amacıyla analizler tekrar edilmiştir. Bu doğrultuda tekrar edilen üç analizin sonuçlarına bakılmış ve en hafif olanı optimum sonuç olarak kabul edilmiştir. Çerçeve için optimum tasarım ağırlığı 412.91 ton (910.30 kips) olarak tespit edilmiş ve her bir grup için elde edilen kesit atamaları Tablo 6.1 de gösterilmiştir. Şekil 6.3 de bu örneğe ait tasarım-zaman grafiği yer almaktadır. Optimum tasarım işlemi içinde ilk uygun çözüme 1020. iterasyonda rastlanmıştır. Daha sonra 7500 tasarım adımına kadar algoritmada optimuma doğru hızlı bir işleyiş gözlemlenmiştir. 7500 ve 30000 inci iterasyonlar arasında en iyi tasarımda adım adım iyileşme meydana gelmiştir. 43140. iterasyon adımında optimum sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6.4 1040 elemanlı çelik çerçevenin çeşitli konfigürasyonlar altında hesaplama zamanları



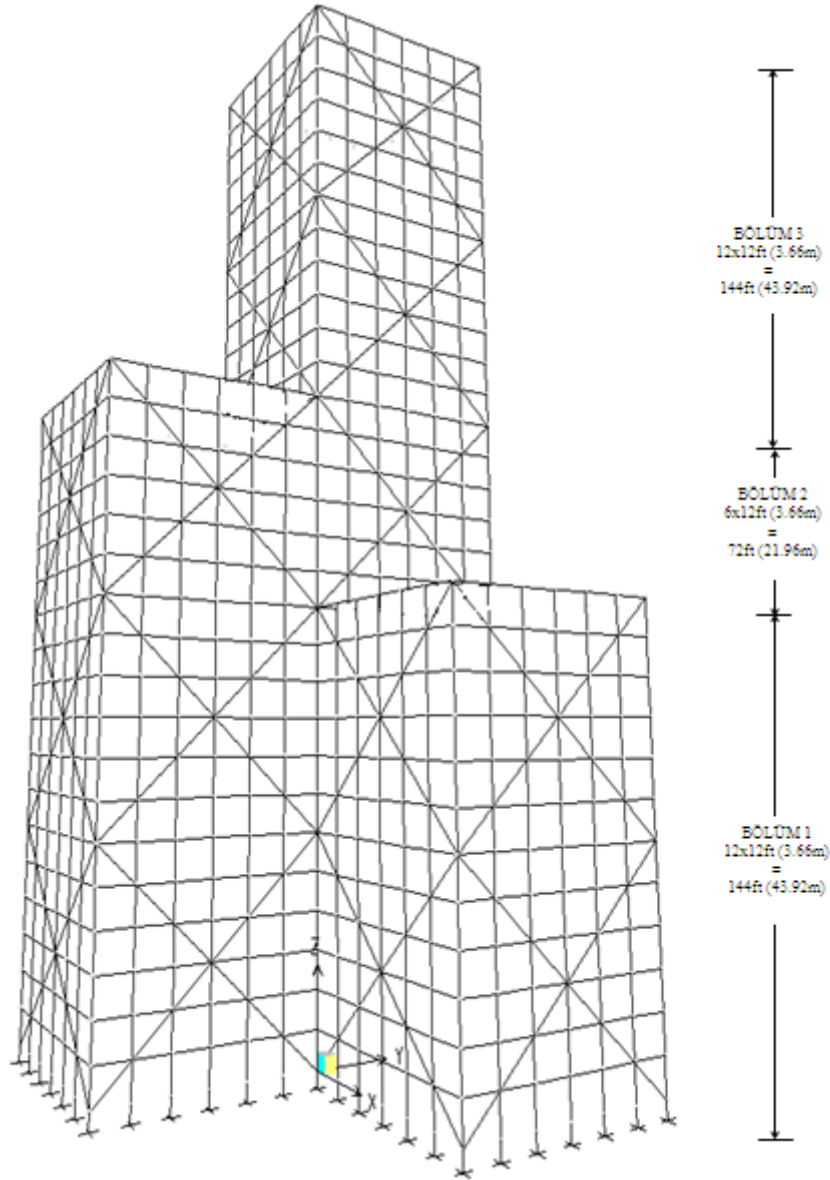
Şekil 6.5 1040 elemanlı çelik çerçeve için çeşitli konfigürasyonlar altında hızlanma grafiği

Daha sonra paralel hesaplama sisteminin performansının ölçülmesi amacıyla en iyi tasarım on bir farklı bilgisayar ve işlemci konfigürasyonu ile tekrarlanmıştır. Her bir konfigürasyon a'nın her bilgisayarda bulunan işlemci sayısını ve b'nin kullanılan bilgisayar sayısını gösterdiği axb notasyonu ile gösterilmiştir. Dolayısıyla konfigürasyonda bulunan toplam işlemci sayısı axb ile ifade edilir. Her konfigürasyon altında yapılan analizler sonucunda kaydedilen işlem zamanları 5.3 numaralı şekilde gösterilmiştir ve seri işleme konfigürasyonuna göre elde edilen hızlanma Şekil 5.5 de ifade edilmiştir. Aynı toplam işlemci sayısına sahip olan 1×2 ve 2×1 , 1×4 ve 2×2 , 1×8 ve 2×4 , veya 2×8 ve 4×4 şeklindeki iki konfigürasyon arasında yapılan kıyaslamada daha fazla bilgisayara sahip olan konfigürasyonun daha fazla hızlanmaya yol açtığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak ticari paket programının disk yazma ve okuma işlemlerinde her bir bilgisayar için seri uygulamaya ihtiyaç duyması gösterilebilir. Dolayısıyla daha çok bilgisayara sahip konfigürasyonlar daha az seri işlem yapma avantajına sahiptirler ve daha kısa zamanda sonuca ulaşırlar. İşlemcilerin sayısının 1 den 32 ye çıkarılmasıyla birlikte kayda değer bir ölçeklenebilirlik elde edilmiştir. Maksimum paralel işleme hızlanması 12.2 olarak 4×8 konfigürasyonda elde edilmiştir. 3×8 ve 4×8 konfigürasyonları ile meydana gelen işlemci sayısındaki artış sırasıyla 11.7 ve 11.3 lük hızlanma oranlarıyla performansta bir düşüş meydana getirmiştir. Daha büyük yapısal boyutlara sahip olan diğer örneklerde bu duruma rastlanmamıştır. Göreceli olarak daha az analiz zamanına ihtiyaç duyan yapı sistemleri için tekil bilgisayarlar tarafından uygulanan seri operasyonların algoritmanın işlem zamanına hâkim olduğu gözlemlenmiştir. Daha iyi bir performans için işlemci sayısı yerine bilgisayar sayısı artırılmalıdır.

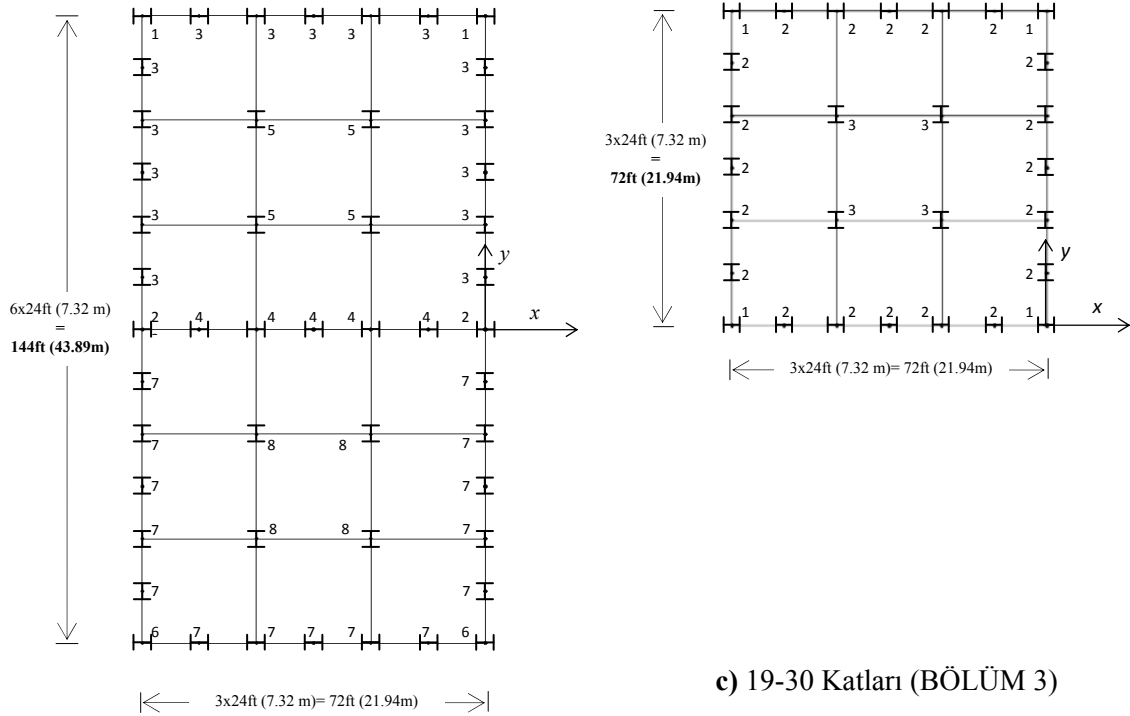
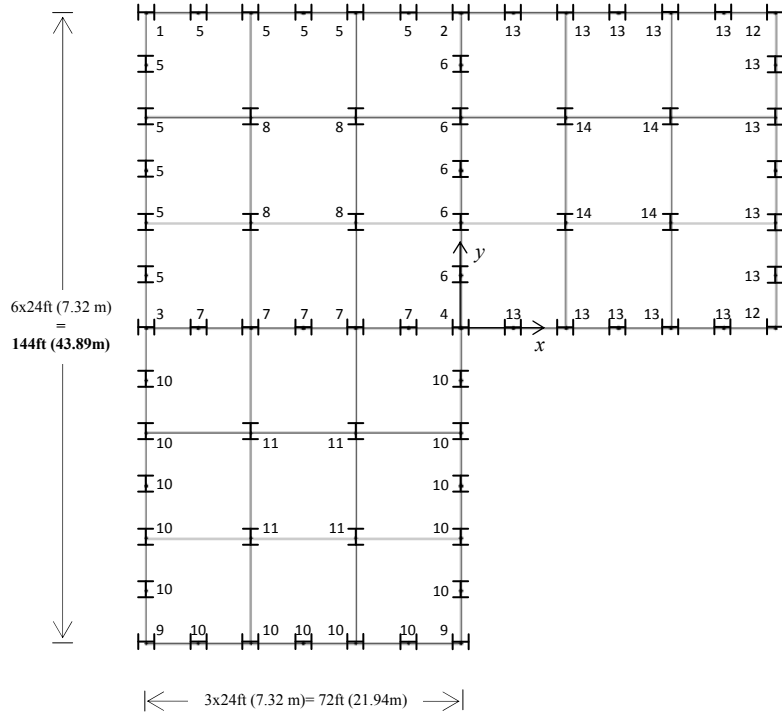
6.2.2 3590-elemanlı Uzay Çelik Çerçeve

İkinci örnek 1540 düğüm noktası ve 3590 elemandan oluşan ve ardarda gelen 30, 18 ve 12 katlı üç bloktan meydana gelen çelik çerçevedir. Üç boyutlu ve plan görünüşleri 4.12 ve 4.13 inci şekillerde gösterilmiştir. Yapının yatay yüklere karşı ekonomik ve etkili rijitliği binayı çevreleyen ve blokların ard arda gelen köşelerinde bulunan diyagonal çaprazlarla sağlanmıştır. Diyagonaller düşey yükleri aktarmak için de kullanılırlar. Çerçeve 109 gruptan ibarettir. Kolonlar 1-12 katlar arasında, on dört grupta (Şekil 6.7a), 13-18 arasında sekiz grupta (Şekil 6.7b) ve 19-30 katları arasında üç grupta (Şekil 6.7c) toplanmıştır. Kolonlar, kirişlerde olduğu gibi her üç katta bir aynı kesitleri alırlar. Çapraz elemanları üç kat derinliğindedir ve her altı katta bir, bir grup altında toplanırlar. Birleşik gerilme, stabilite ve

deplasman sınırlayıcıları ile geometrik sınırlayıcılar ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamesine göre uygulanmıştır. x ve y doğrultularındaki deplasmanlar yükseklik/400 olarak 27.43 cm (10.8 in) ile ve katlar arası öteleme 0.91 cm (0.36 in) ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 6.6 3590-elemanlı çelik çerçeve



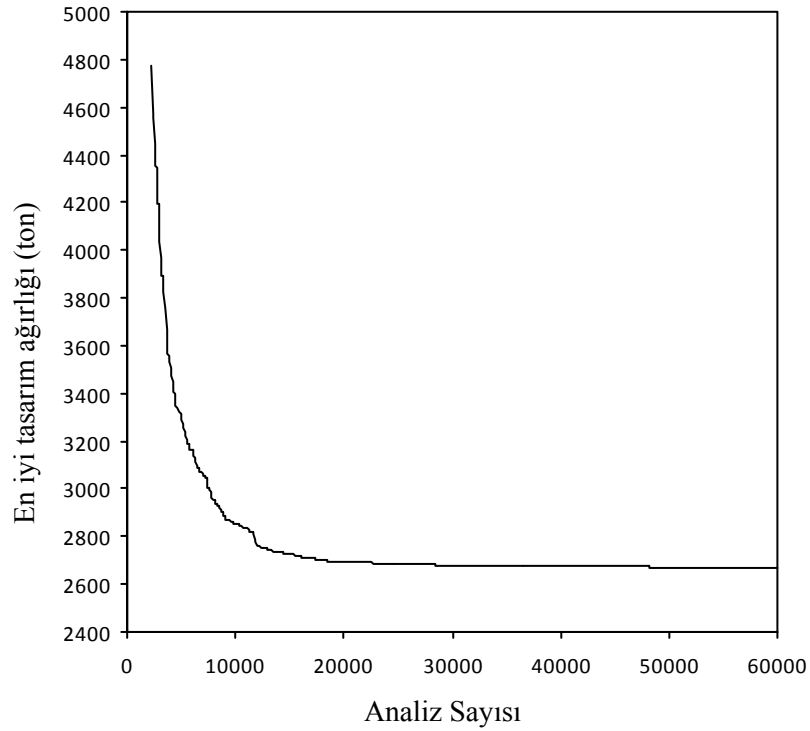
Şekil 6.7 3590- elemanlı çelik çerçevenin farklı kat seviyelerindeki plan görünüş detayları
a) Bölüm 1, b) Bölüm 2, c) Bölüm 3

Tablo 6.2 3590 elemanlı çelik çerçeve için optimum tasarım

Katlar	Eleman grupları	Hazır kesit	Katlar	Eleman grupları	Hazır kesit
Bölüm 1					
1-3	CG1*	W33X201	4-6	CG1	W14X159
	CG2*	W14X176		CG2	W12X120
	CG3*	W10X60		CG3	W8X35
	CG4*	W27X235		CG4	W36X210
	CG5*	W12X170		CG5	W12X190
	CG6*	W24X192		CG6	W21X147
	CG7*	W24X192		CG7	W21X223
	CG8*	W33X424		CG8	W24X450
	CG9*	W8X24		CG9	W8X24
	CG10*	W36X210		CG10	W14X109
	CG11*	W36X245		CG11	W40X215
	CG12*	W14X38		CG12	W12X45
	CG13*	W14X176		CG13	W14X99
	CG14*	W12X170		CG14	W33X130
	IB*	W18X35		IB	W18X35
OB*	W8X10	OB	W6X12		
BR*	W14X283	BR	W14X283		
7-9	CG1	W12X30	10-12	CG1	W6X20
	CG2	W33X141		CG2	W21X111
	CG3	W8X31		CG3	W36X150
	CG4	W12X120		CG4	W44X285
	CG5	W36X210		CG5	W27X146
	CG6	W33X141		CG6	W24X279
	CG7	W36X170		CG7	W30X191
	CG8	W33X424		CG8	W27X368
	CG9	W14X38		CG9	W8X28
	CG10	W14X99		CG10	W14X90
	CG11	W24X192		CG11	W40X199
	CG12	W8X24		CG12	W6X15
	CG13	W12X87		CG13	W14X90
	CG14	W30X90		CG14	W21X101
	IB	W16X40		IB	W40X149
OB	W12X14	OB	W14X22		
BR	W14X283	BR	W14X283		
Bölüm 2					
13-15	CG1	W21X83	16-18	CG1	W14X82
	CG2	W16X67		CG2	W30X90
	CG3	W18X143		CG3	W27X146
	CG4	W27X146		CG4	W27X114
	CG5	W40X249		CG5	W40X221
	CG6	W8X24		CG6	W14X61
	CG7	W10X68		CG7	W16X67
	CG8	W24X117		CG8	W8X21
	IB	W18X40		IB	W24X68
	OB	W18X35		OB	W24X68
	BR	W14X233		BR	W14X233
Bölüm 3					
19-21	CG1	W8X21	22-24	CG1	W14X30
	CG2	W18X130		CG2	W21X122
	CG3	W21X248		CG3	W14X193
	IB	W16X45		IB	W44X198
	OB	W10X17		OB	W14X30
	BR	W14X193		BR	W14X193
25-27	CG1	W10X39	28-30	CG1	W6X15
	CG2	W40X167		CG2	W12X79
	CG3	W14X211		CG3	W14X82
	IB	W40X167		IB	W18X40
	OB	W18X65		OB	W8X18
	BR	W12X87		BR	W12X87
Ağırlık : 2670.58 ton (5887.63 kips)					

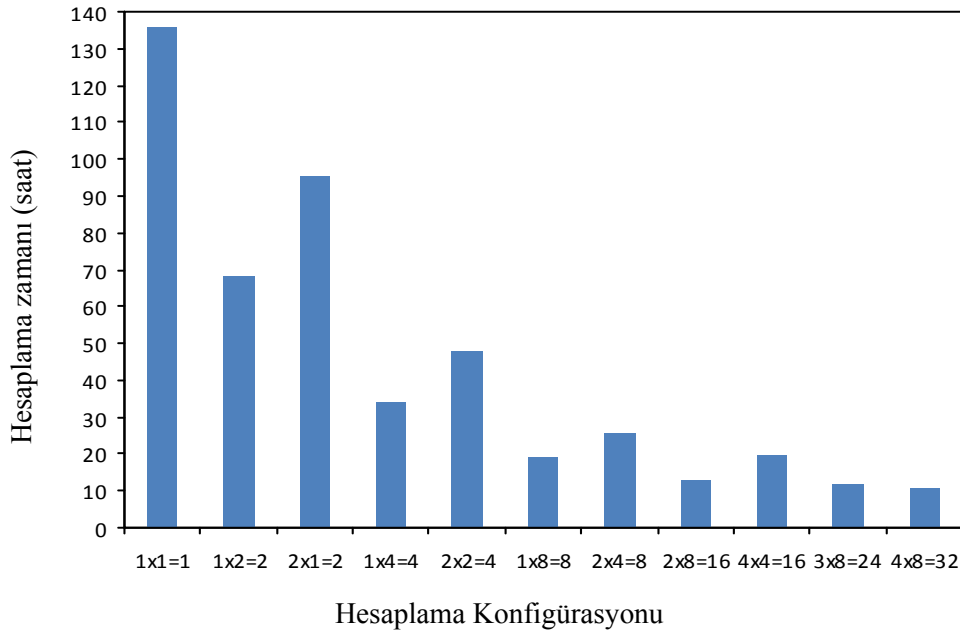
* CG¹ - CG¹⁶ şekil 5.7'a göre kolon grupları, IB: İç kirişler, OB: Dış kirişler, BR: Çapraz elemanlar

Çerçeve minimum ağırlık tasarımı 32 işlemcili paralel hesaplama sisteminde üç adet iterasyon işlemi yapmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. 60000 çerçeve analizi dikkate alındığında her bir iterasyon işleminin ortalama 10 saat 20 dakika sürdüğü gözlemlenmiştir. Çerçeve için optimum tasarım ağırlığı 2670.63 ton (5887.63 kips) olarak tespit edilmiş ve her bir grup için elde edilen kesit atamaları Tablo 6.2 'de gösterilmiştir. Şekil 6.8 'de bu örneğe ait tasarım-zaman grafiği yer almaktadır. Optimum tasarım işlemi içinde ilk uygun çözüme 2220. iterasyonda rastlanmıştır. Daha sonra 11000 tasarım adımına kadar algorithmada optimuma doğru hızlı bir işleyiş gözlemlenmiştir. 11000 ve 45000 inci iterasyonlar arasında yakınsamada görülen düşüşle birlikte en iyi tasarımda adım adım iyileşme meydana gelmiştir. 52800 ncü iterasyon adımında optimum sonuç elde edilmiştir.

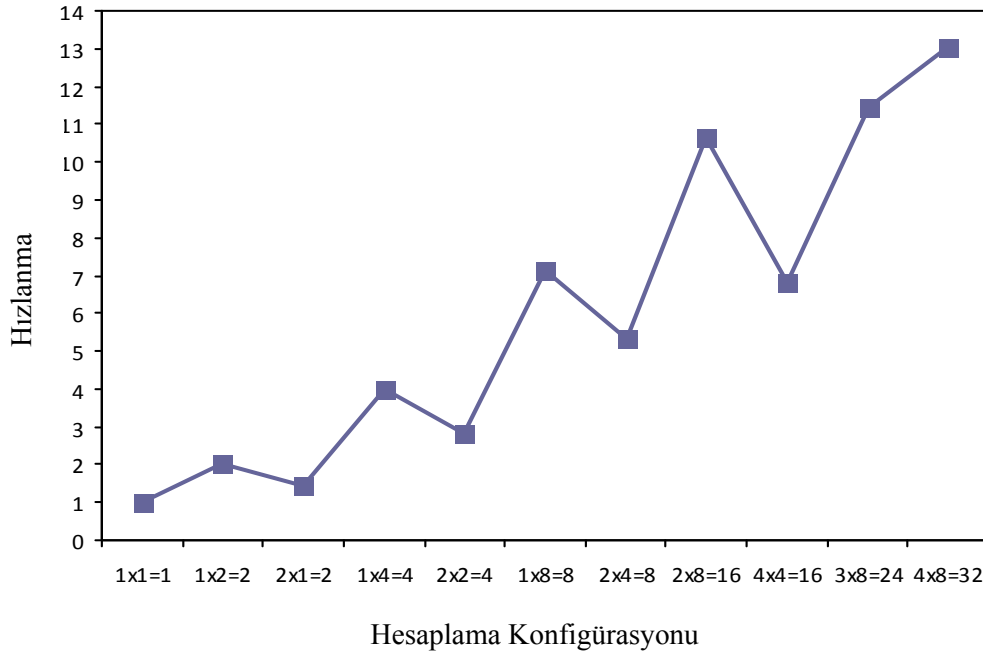


Şekil 6.8 3590 elemanlı çelik çerçeve için en iyi tasarım- zaman grafiği

Paralel programlamanın performansını test etmek amacıyla en iyi tasarım onbir farklı hesaplama konfigürasyonunda tekrar edilmiştir. Her bir konfigürasyon altında tekrarlanan algoritma hesaplama süresi 10 numaralı şekilde gösterilmiş ve seri çalışma (1x1 konfigürasyon) ile karşılaştırmalı hızlanması 11 numaralı şekilde belirtilmiştir. Benzer işlemci yapısına sahip konfigürasyonlar için fazla sayıda bilgisayar kullanımıyla birlikte hesaplama süresinde düşüş olduğu farkedilmiştir. İşlemcilerin sayısının 1 den 32 ye çıkarılmasıyla birlikte performansta bir düşüş işaretine rastlanmaksızın, kayda değer bir ölçeklenebilirlik elde edilmiştir. Maksimum paralel işleme hızlanması 13.1 olarak 4x8 konfigürasyonda elde edilmiştir.



Şekil 6.9 3590 elemanlı çelik çerçevenin çeşitli konfigürasyonlar altında hesaplama zamanları

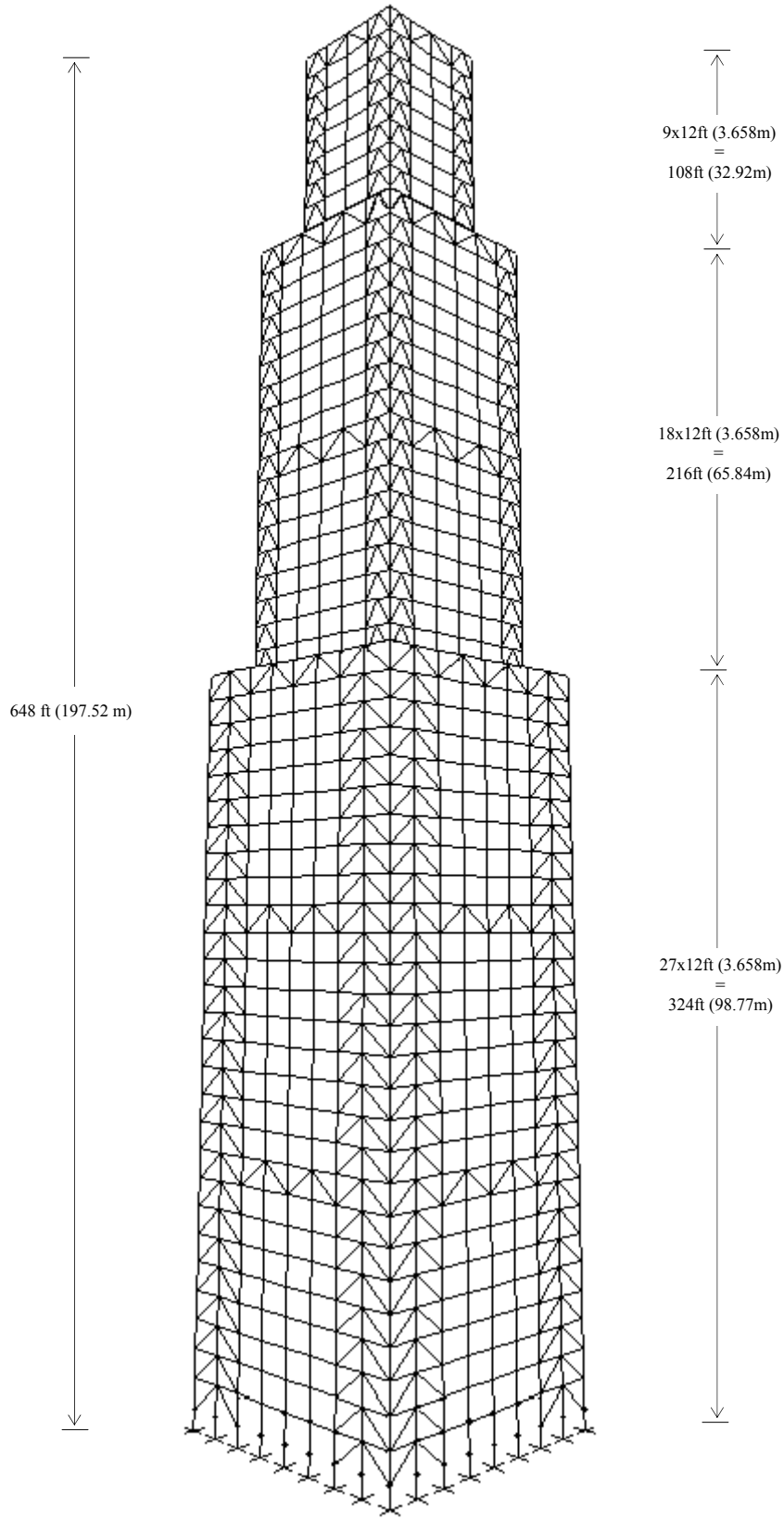


Şekil 6.10 3590 elemanlı çelik çerçeve için çeşitli konfigürasyonlar altında hızlanma grafiği

6.2.3 7648-elemanlı Uzay Çelik Çerçeve

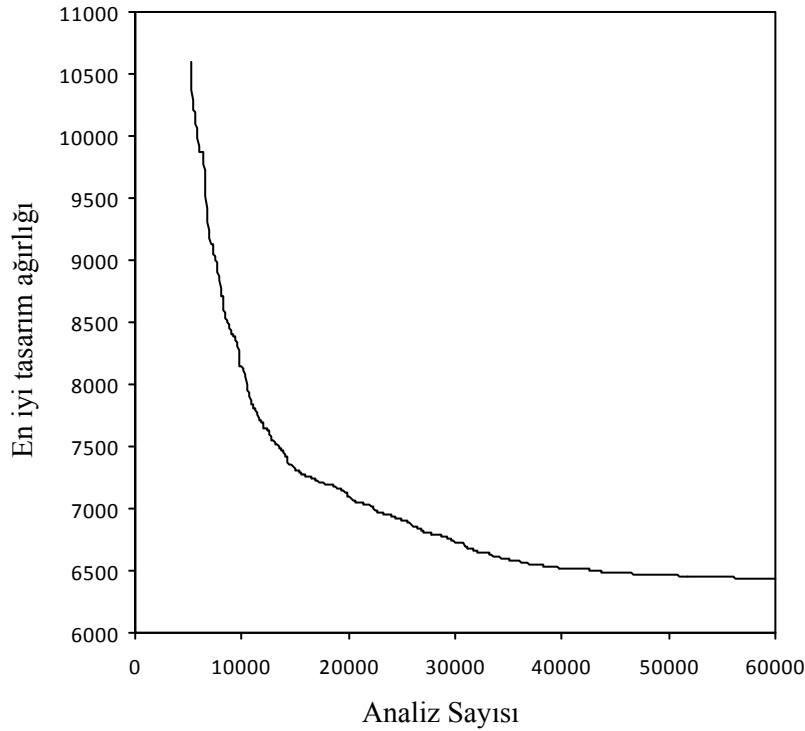
Üçüncü örnek 3536 düğüm noktası ve 7648 elemandan oluşan 54 katlı çelik yapıdır. Şekil 6.11 'de bu yapıya ait olan 3-boyutlu ve plan görünüşleri sırasıyla verilmiştir. Binanın yapısal sistemi isimleri A dan D ye değişen iç içe geçmiş dört adet tüpten ibarettir. Her bir tüp moment taşıyan bağlantılarla derin köşeli kirişlere bağlanmış olan kolonlar kümesinden oluşur. En yüksek zorlanmanın olağanüstü yapısal derinliği nedeniyle en dış tüp tarafından karşılandığı bu tüp içinde tüp sisteminde bütün tüpler sisteme etkileyen yatay ve düşey yükleri düğüm noktalarına aktararak taşırlar. Yapının yatay doğrultudaki ek rijitliği en dış tüpün çapraz köşe açıklıklarıyla sağlanır. Bu çaprazlar burulma kuvvetlerinin karşılanmasını sağlayan kapalı hücreler oluşturmak için her dokuz katta bir yer alan yatay kafeslerle birbirine bağlanmıştır. Tüpler birbirine iç kirişlerle bağlanmıştır ve bu sistem sadece düşey yüklerin karşılanması amacıyla tasarlanmıştır. Bu elemanlar çerçeve sisteminin statik açıdan belirli bileşenleri olduğundan ne belirsiz parçalardaki rijitlik dağılımını etkilerler ne de boyutlandırma için optimizasyon işlemine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, bu elemanlar binanın

yapısal modeli içindeki her kat seviyesinde diyagram sınırlayıcıları kullanmak suretiyle sistemden çıkarılmıştır. Bu işlemin uygulanmasıyla birlikte kat sistemlerinin yapı modeli içindeki kendi düzlemlerinde rijitliklerini koruması sağlanmış ve yatay yükler çerçevelenmiş tüplere rijitlikleri oranında dağıtılmıştır. Katlara gelen düşey kuvvetler hesap edilirken yük dağıtım formülleri ilk olarak kirişlere gelen yayılı yüklerin tespiti için kullanılır. Daha sonra pin bağlantılı kirişlerde hesaplanan uç reaksiyonları çerçevelenmiş tüplerin kirişlerine ek noktasal yük olarak etkililir. 7648 elemanlı çerçeve elemanları 198 farklı eleman grubu altında toplanmıştır. Kolonlar her bir kattaki farklı tüpler için köşe ve kenar kolon olarak iki gruba ayrılırken, kirişler her tüp için tek bir grupla sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde, birbirini takip eden her üç kattaki bütün çaprazlar için tek eleman grubu kullanılmıştır. Birleşik gerilme, stabilite ve deplasman sınırlayıcıları ile geometrik sınırlayıcılar ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamesine göre uygulanmıştır.



Şekil 6.11 7648-elemanlı Uzay Çelik Çerçeve

Önceki örneğe benzer olarak çerçeve minimum ağırlık tasarımı 32 işlemcili paralel hesaplama sisteminde üç adet iterasyon işlemi yapmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. 60000 çerçeve analizi dikkate alındığında her bir iterasyon işleminin ortalama 25 saat 10 dakika sürdüğü gözlemlenmiştir. Tablo 6.3 'de de gösterildiği gibi, geliştirilen paralel çözüm algoritması minimum ağırlığı 6435.76 ton (14188.41 kips) olarak hesap etmiştir. Bu örnek için tasarım-zaman grafiği Şekil 6.12 'de gösterilmiştir. Diğer iki örnek ile kıyaslandığında bu örnek için kullanılan değişken sayısının diğer örneklerden fazla olması nedeniyle optimum tasarım süreci içindeki ilk uygun çözümün daha uzun süre sonunda (5160. adım) elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, daha önceki örneklerde gözlemlenen hızlı yakınsama oranı bu örnekte yer değiştirerek optimuma doğru daha yavaş bir yakınsama oranı şeklinde yer almıştır. Optimum sonuca 58620. adımda ulaşılmıştır.

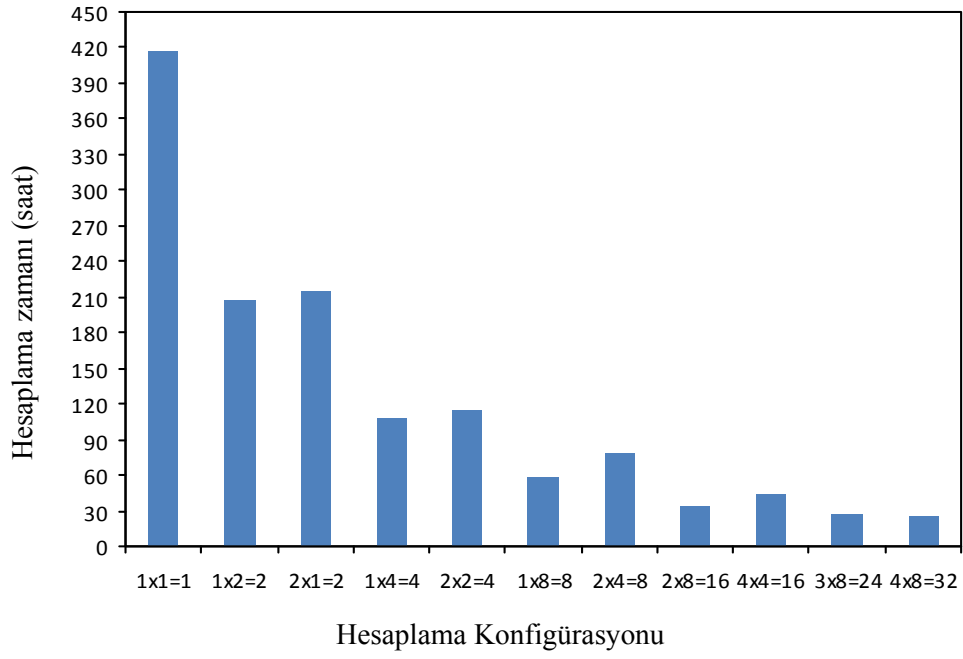


Şekil 6.12 7648 elemanlı çelik çerçeve için en iyi tasarım-zaman grafiği.

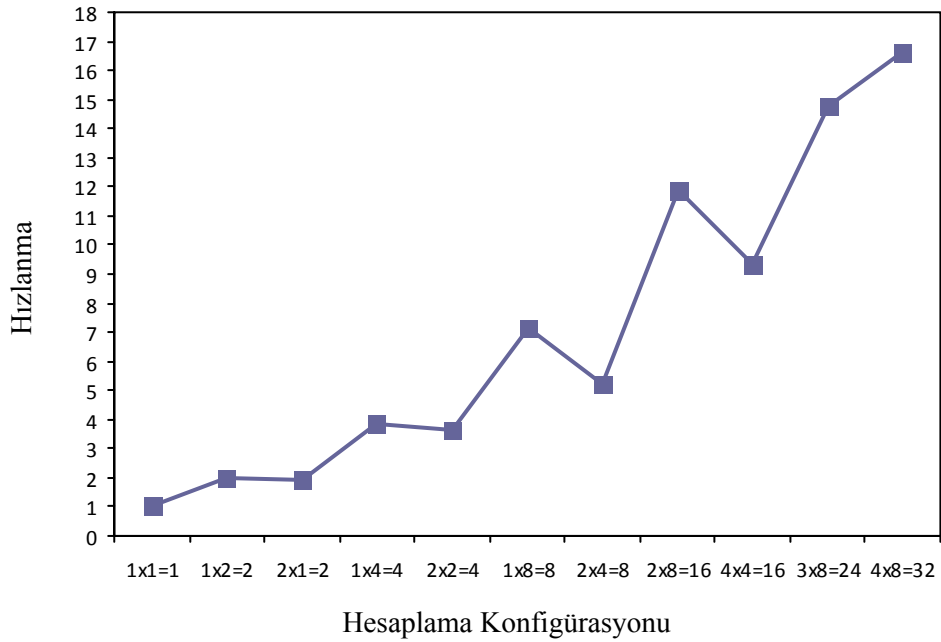
Tablo 6.3 7648 elemanlı çelik çerçeve için optimum tasarım

Katlar	Eleman grupları	Hazır kesit	Katlar	Eleman grupları	Hazır kesit	Katlar	Eleman grupları	Hazır kesit
1-3	CC-A*	W30X526	4-6	CC-A	W14X455	7-9	CC-A	W14X426
	SC-A*	W30X581		SC-A	W30X391		SC-A	W14X342
	CC-B*	W33X387		CC-B	W40X324		CC-B	W40X268
	SC-B*	W14X500		SC-B	W14X500		SC-B	W40X328
	CC-C*	W36X848		CC-C	W30X191		CC-C	W14X159
	SC-C*	W14X730		SC-C	W14X257		SC-C	W40X324
	CC-D*	W36X848		CC-D	W40X328		CC-D	W30X191
	SC-D*	W24X192		SC-D	W24X131		SC-D	W14X176
	BM-A*	W30X116		BM-A	W21X62		BM-A	W14X26
	BM-B*	W24X62		BM-B	W33X118		BM-B	W14X22
	BM-C*	W40X149		BM-C	W14X22		BM-C	W12X22
	BM-D*	W18X60		BM-D	W16X26		BM-D	W12X14
	BR-D*	W12X87		BR-D	W14X176		BR-D	W27X235
10-12	CC-A	W40X480	13-15	CC-A	W14X665	16-18	CC-A	W27X448
	SC-A	W30X357		SC-A	W14X550		SC-A	W30X391
	CC-B	W24X306		CC-B	W27X258		CC-B	W24X207
	SC-B	W36X439		SC-B	W21X333		SC-B	W36X260
	CC-C	W27X178		CC-C	W36X160		CC-C	W18X130
	SC-C	W12X305		SC-C	W14X500		SC-C	W12X230
	CC-D	W30X191		CC-D	W10X33		CC-D	W18X65
	SC-D	W36X230		SC-D	W14X193		SC-D	W14X145
	BM-A	W27X84		BM-A	W12X19		BM-A	W33X130
	BM-B	W33X118		BM-B	W14X22		BM-B	W12X19
	BM-C	W16X31		BM-C	W36X135		BM-C	W12X22
	BM-D	W27X84		BM-D	W18X35		BM-D	W10X15
	BR-D	W30X173		BR-D	W12X72		BR-D	W14X159
19-21	CC-A	W21X333	22-24	CC-A	W12X279	25-27	CC-A	W30X235
	SC-A	W30X391		SC-A	W40X268		SC-A	W14X257
	CC-B	W18X192		CC-B	W36X260		CC-B	W18X130
	SC-B	W40X268		SC-B	W14X550		SC-B	W33X354
	CC-C	W21X101		CC-C	W21X101		CC-C	W40X192
	SC-C	W33X221		SC-C	W40X167		SC-C	W33X241
	CC-D	W18X76		CC-D	W8X31		CC-D	W36X135
	SC-D	W14X176		SC-D	W14X211		SC-D	W14X211
	BM-A	W14X26		BM-A	W24X68		BM-A	W12X19
	BM-B	W12X22		BM-B	W44X198		BM-B	W12X19
	BM-C	W16X26		BM-C	W12X19		BM-C	W40X149
	BM-D	W27X84		BM-D	W24X55		BM-D	W10X15
	BR-D	W24X131		BR-D	W12X65		BR-D	W30X191
28-30	CC-A	W14X257	31-33	CC-A	W30X191	34-36	CC-A	W21X166
	SC-A	W14X370		SC-A	W36X182		SC-A	W14X159
	CC-B	W24X131		CC-B	W27X129		CC-B	W10X77
	SC-B	W36X260		SC-B	W30X211		SC-B	W14X193
	CC-C	W12X96		CC-C	W12X53		CC-C	W14X145
	SC-C	W14X665		SC-C	W14X211		SC-C	W14X257
	BM-A	W30X90		BM-A	W14X22		BM-A	W16X26
	BM-B	W18X35		BM-B	W30X90		BM-B	W14X22
	BM-C	W30X99		BM-C	W27X94		BM-C	W24X55
	BR-C*	W12X58		BR-C	W14X159		BR-C	W27X217
37-39	CC-A	W14X159	40-42	CC-A	W14X193	43-45	CC-A	W14X109
	SC-A	W14X283		SC-A	W14X132		SC-A	W14X90
	CC-B	W30X116		CC-B	W18X35		CC-B	W21X111
	SC-B	W40X268		SC-B	W40X298		SC-B	W14X90
	CC-C	W24X250		CC-C	W14X26		CC-C	W12X120
	SC-C	W18X76		SC-C	W14X109		SC-C	W24X117
	BM-A	W30X108		BM-A	W18X35		BM-A	W12X19
	BM-B	W30X90		BM-B	W30X90		BM-B	W16X36
	BM-C	W12X16		BM-C	W12X19		BM-C	W12X14
BR-C	W12X79	BR-C	W12X72	BR-C	W24X146			
46-48	CC-A	W14X99	49-51	CC-A	W14X68	52-54	CC-A	W10X33
	SC-A	W14X99		SC-A	W14X90		SC-A	W8X24
	CC-B	W30X108		CC-B	W14X61		CC-B	W16X77
	SC-B	W14X99		SC-B	W12X65		SC-B	W14X99
	BM-A	W16X26		BM-A	W24X62		BM-A	W12X26
	BM-B	W12X19		BM-B	W12X14		BM-B	W10X12
	BR-B*	W10X33		BR-B	W6X25		BR-B	W8X35
Ağırlık : 6435.76 kg (14188.41 kips)								

* CC-A, CC-B: CC-C, CC-D: A, B, C and D tüpleri için köşe kolonlar. SC-A, SC-B, SC-C, SC-D: Side A, B, C and D tüpleri için kenar kolonlar, BM-A, BM-B, BM-C, BM-D: A, B, C and D tüpleri için kirişler, BR-B, BR-C, BR-D: A, B, C and D tüpleri için çapraz elemanlar



Şekil 6.13 7648 elemanlı çelik çerçevenin çeşitli konfigürasyonlar altında hesaplama zamanları



Şekil 6.14 7648 elemanlı çelik çerçeve için çeşitli konfigürasyonlar altında hızlanma grafiği

Paralel programlamanın performansını test etmek amacıyla en iyi tasarım on bir farklı hesaplamalı konfigürasyonda tekrar edilmiştir. Her bir konfigürasyon altında tekrarlanan algoritma hesaplama süresi Şekil 6.13 'de gösterilmiş ve seri çalışma (1x1 konfigürasyon) ile karşılaştırmalı hızlanması Şekil 6.14 'de belirtilmiştir. Benzer işlemci yapısına sahip konfigürasyonlar için fazla sayıda bilgisayar kullanımıyla birlikte hesaplama süresinde düşüş olduğu farkedilmiştir. İşlemcilerin sayısının 1 den 32 ye çıkarılmasıyla birlikte performansta bir düşüş işareti rastlanmaksızın, kayda değer bir ölçeklenebilirlik elde edilmiştir. Maksimum paralel işleme hızlanması 16.6 olarak 4x8 konfigürasyonda elde edilmiştir.

BÖLÜM 7

KOLON ORYANTASYONLARININ ÇELİK ÇERÇEVELERİN MİNİMUM AĞIRLIKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

7.1 GİRİŞ

Kolon oryantasyonunun çelik yapıların minimum ağırlık tasarımı üzerindeki etkisi ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] kodlarındaki talimatlara göre tasarımı yapılmış altı adet sayısal örnek kullanılarak incelenmiştir. Bu örneklerde, evrimsel algoritmalar yönteminin kullanılmasıyla yapılan optimizasyon işlemi boyunca başlangıçta kolon elemanlarının oryantasyonu sabit kalacak şekilde tanımlanan çelik yapılar, ilk olarak boyut tasarım değişkenleri dikkate alınarak minimum ağırlık için boyutlandırılmıştır. Daha sonra yapıların optimum ağırlık tasarımları hem boyut hem de oryantasyon tasarım değişkenleri kullanılarak yapılmıştır.

7.2 AYRIK EVRİMSEL STRATEJİLER PARAMETRELERİ

Tüm tasarım örneklerinde uygulanan ayırık evrim stratejisi metodunun parametreleri etkin optimum tasarım işlemi için şu şekilde ayarlanmıştır: popülasyon parametresi ($\mu = 10, \lambda = 60$), strateji parametresinin başlangıç değerleri ($p_s^{(0)} = 0.25, p_o^{(0)} = 0.25, \psi_i^{(0)} = 20$) ve maksimum jenerasyon sayısı ($N_{gen} = 1000$). Bu çalışmada sunulan optimum tasarımları elde etmek için her örnek için toplam 60000 yapısal analiz icra edilmiştir.

7.3 TASARIM PROBLEMLERİ

7.3.1 960 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

Bu örnekte kolon oryantasyonlarının optimal düzeni üzerine yanal yük yoğunluğunun etkisi araştırılmıştır. 960 eleman içeren 10 katlı 5x5 açıklıklı düzgün çelik uzay çerçeve temel uygulama olarak alınmıştır (Şekil 7.1). Yapı, 105 m/sn düzgün temel rüzgâr hızına ilaveten 90, 120 ve 150 mph temel rüzgâr hızına sahip rüzgar kuvvetlerine maruz bırakılarak dört farklı rüzgar kuvveti altında tasarlanmıştır. Dikey yükleme ve başlangıç kolon oryantasyonları tüm test durumları için aynı tanımlanmıştır. Optimizasyon işleminde yer alan tasarım değişkenlerinin tipine bağlı olarak her test durumu için iki tasarım çalışması yapılmıştır. İlk olarak yapı, sadece kolon elemanların başlangıç oryantasyonları sabit tutulan tasarım değişkenleri dikkate alınarak minimum ağırlık için tasarlanmıştır. İkinci olarak boyut ve oryantasyon tasarım değişkenleri çerçevenin ağırlığını minimize edebilmek için birlikte uygulanmıştır. Her durum için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve kolon oryantasyonlarının optimal düzeni araştırılmıştır.

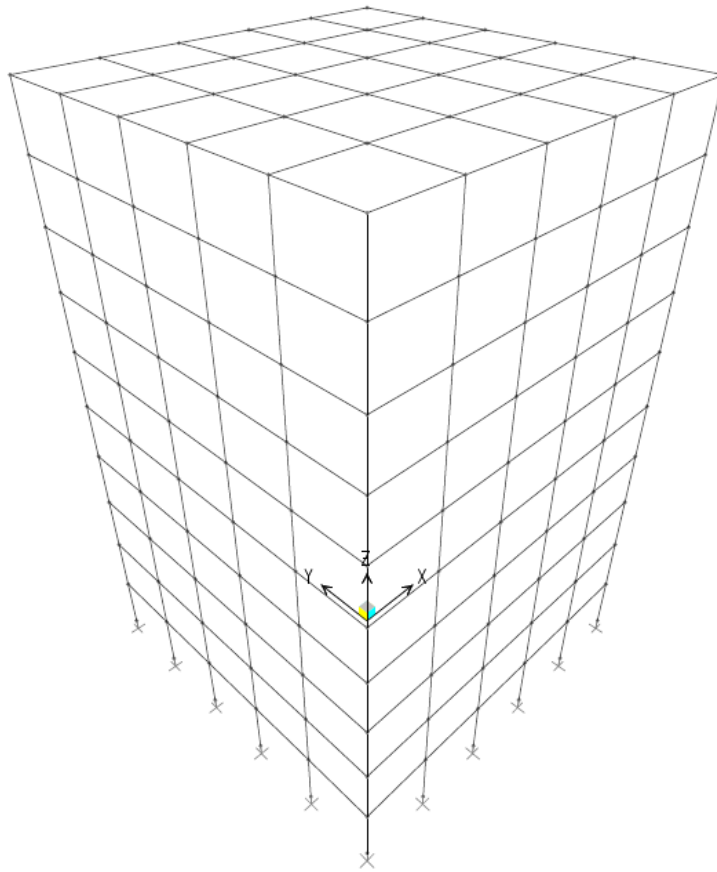
7.3.1.1 Yapısal Sistem

10 katlı çelik uzay çerçeve 960 eleman ve 396 birleşme noktasından oluşur. 15 ft (4.57 m) düzenli açıklık olmak üzere x yönünde 5 açıklık ve y yönünde 5 açıklığı vardır ve kat yüksekliği 12 ft (3.66 m) 'dir. Bu yüzden yapı sistemi planda $75 \times 75 \text{ ft}^2$ (522.58 m^2) boşluk işgal eder ve rakımda 120 ft (36.58 m) 'dir. Yapının stabilitesi moment dirençli bağlantılar ile sağlanır ve kolonlar temele sabitlenmiştir.

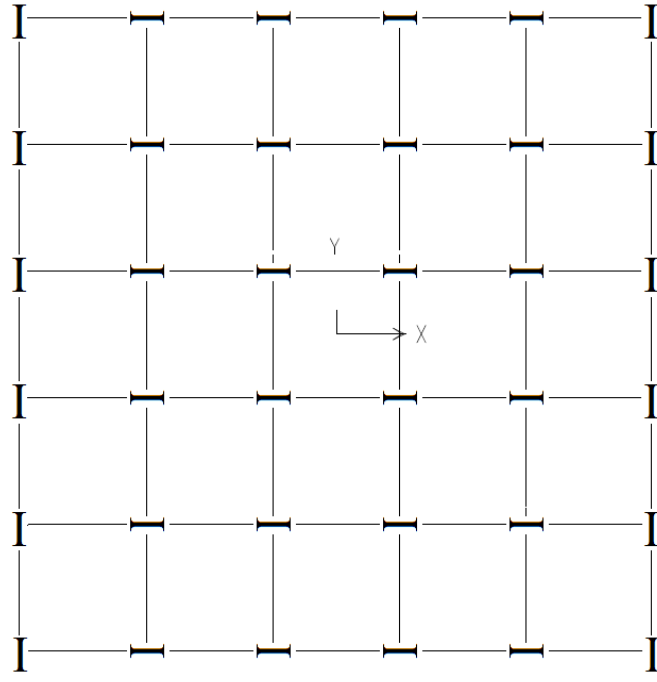
Pratik fabrikasyon gereksinimlerini sağlamak için çerçevenin 960 elemanı 45 eleman boyut grubu (boyut tasarım değişkenleri) altında toplanmıştır; 35 kolon boyut grubu ve 10 kiriş boyut grubu. Eleman grupları Tablo 7.1 'de açık bir şekilde gösterilmiştir. Eleman gruplandırmaları hem plan hem de rakım seviyelerinde uygulanmıştır. Plan seviyesinde kolonlar Şekil 7.2 'de gösterildiği gibi yapının x ve y eksenlerine göre simetrikliği düşünülerek yedi grup altında toplanmıştır. Köşe kolonlar ilk grupta yer alırlar. İkinci ve

üçüncü gruplar sırasıyla x-z yönündeki ve y-z yönündeki dış kolonlardır. İç kolonlar, iç köşeler (4.), x-z yönündeki iç kolonlar (5.), y-z yönündeki iç kolonlar (6.) ve merkez kolonlar (7.) olacak şekilde dört gruba bölünmüştür. Diğer taraftan kirişler plan seviyesinde iç ve dış kirişler olarak iki grup altında toplanmıştır. Rakım seviyesi gruplandırmasında eleman grupları her iki katta bir aynı olacak şekilde yapılmıştır.

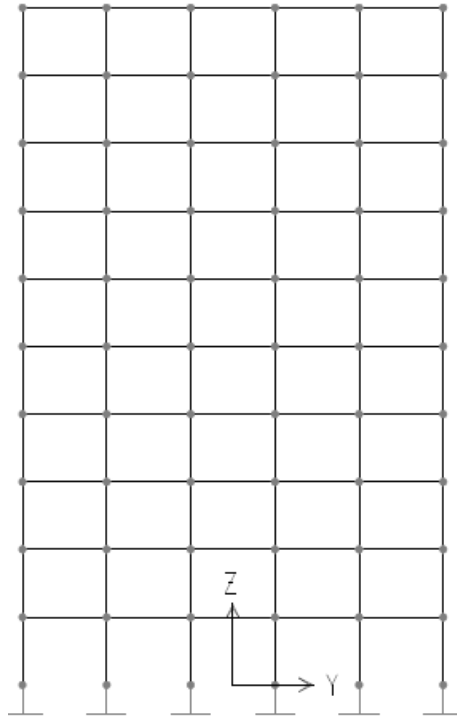
Oryantasyon değişkenleri, pratik uygulama gereksinimlerine göre çerçeve yüksekliğince peş peşe gelen tüm kolonlar (dikey çizgi üzerinde uzanan kolonlar) aynı oryantasyona sahip olmalıdır fikrine uygun olarak tanımlanmıştır. Bu yüzden Şekil 7.2 'de gösterilen her kolon grubu bir oryantasyon değişkeni ile ilişkilidir. Böylece problemde toplam yedi oryantasyon değişkeni tanımlanmıştır.



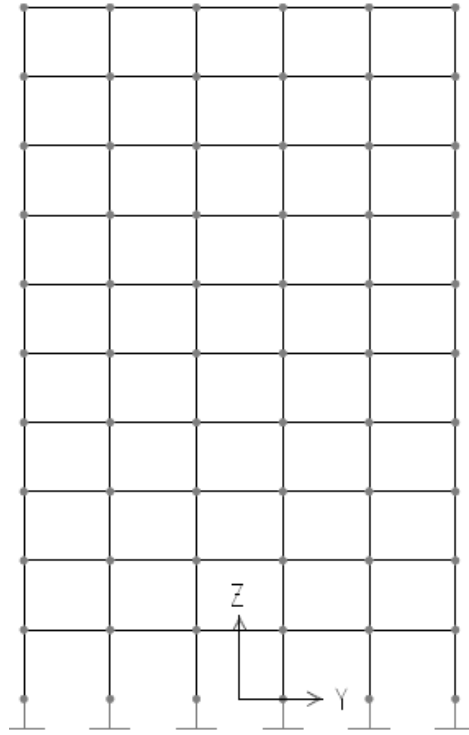
(a) 3D görünüş



(b) Plan görünüşü



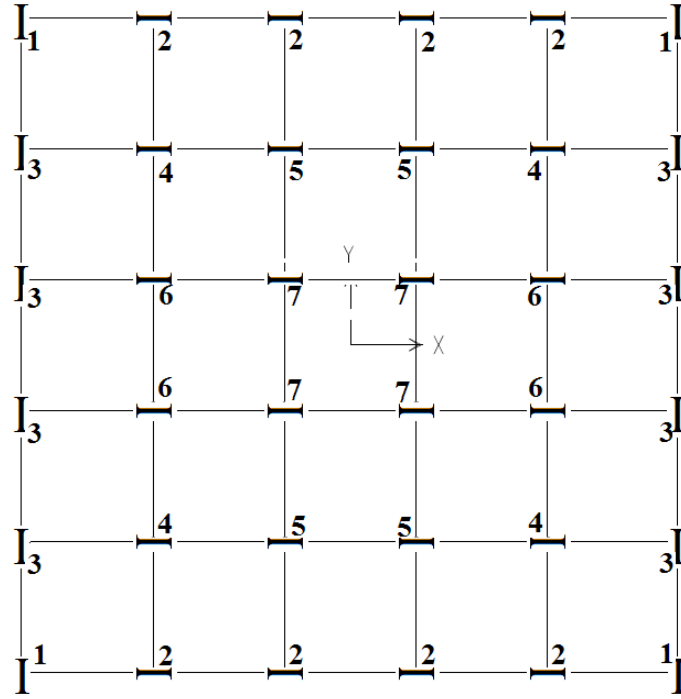
(c) Yan görünüş



(d) Yan görünüş

Şekil 7.1. 960 elemanlı çelik çerçeve

Yük durumları ve kombinasyonları daha önce açıklandığı gibi ASCE 7-05 [ASCE, 2005] 'e göre kararlaştırılmıştır. Kat ve çatı kirişlerinin üzerine gelen yerçekimi yükleri Tablo 7.2 'de verilmiştir ve çerçevenin rüzgar tarafı ve rüzgar çıkış tarafı yüzlerine etkiyen farklı rüzgar hızlarına sahip rüzgar yükleri Tablo 7.3 ve Tablo 7.4 'de sunulmuştur.



Şekil 7.2 Plan seviyesinde 960 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Tablo 7.1 960 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Eleman Grubu	Grup İsmi	Eleman Grubu	Grup İsmi
1	1.&2. kat köşe kolonları	24	5.&6. kat y-z yönündeki iç köşe kolonları
2	1.&2. kat x-z yönündeki dış kolonları	25	5.&6. kat iç kolonları
3	1.&2. kat y-z yönündeki dış kolonları	26	5.&6. kat dış kirişleri
4	1.&2. kat iç köşe kolonları	27	5.&6. kat iç kirişleri
5	1.&2. kat x-z yönündeki iç köşe kolonları	28	7.&8. kat köşe kolonları
6	1.&2. kat y-z yönündeki iç köşe kolonları	29	7.&8. kat x-z yönündeki dış kolonları

Tablo 7.1 (devamı)

7	1.&2. kat iç kolonları	30	7.&8. kat y-z yönündeki dış kolonları
8	1.&2. kat dış kirişleri	31	7.&8. kat iç köşe kolonları
9	1.&2. kat iç kirişleri	32	7.&8. kat x-z yönündeki iç köşe kolonları
10	3.&4. kat köşe kolonları	33	7.&8. kat y-z yönündeki iç köşe kolonları
11	3.&4. kat x-z yönündeki dış kolonları	34	7.&8. kat iç kolonları
12	3.&4. kat y-z yönündeki dış kolonları	35	7.&8. kat dış kirişleri
13	3.&4. kat iç köşe kolonları	36	7.&8. kat iç kirişleri
14	3.&4. kat x-z yönündeki iç köşe kolonları	37	9.&10. kat köşe kolonları
15	3.&4. kat y-z yönündeki iç köşe kolonları	38	9.&10. kat x-z yönündeki dış kolonları
16	3.&4. kat iç kolonları	39	9.&10. kat y-z yönündeki dış kolonları
17	3.&4. kat dış kirişleri	40	9.&10. kat iç köşe kolonları
18	3.&4. kat iç kirişleri	41	9.&10. kat x-z yönündeki iç köşe kolonları
19	5.&6. kat köşe kolonları	42	9.&10. kat y-z yönündeki iç köşe kolonları
20	5.&6. kat x-z yönündeki dış kolonları	43	9.&10. kat iç kolonları
21	5.&6. kat y-z yönündeki dış kolonları	44	9.&10. kat dış kirişleri
22	5.&6. kat iç köşe kolonları	45	9.&10. kat iç kirişleri
23	5.&6. kat x-z yönündeki iç köşe kolonları		

Tablo 7.2 960 elemanlı çelik çerçevenin kirişleri üzerindeki dikey yükler

Kiriş Tipi	Düzgün Yayılı Yük	
	Dış Kirişler	İç Kirişler
	kN/m (lb/ft)	kN/m (lb/ft)
Çatı Kirişleri	5.54 (379.4)	11.08 (758.8)
Kat Kirişleri	8.04 (550.65)	16.08 (1101.3)

Tablo 7.3 90mph ve 105mph (kN/m, lb/ft) rüzgar hızı altında rüzgar yükü değerleri

		V=90mph		V=105mph	
Kat	Z (ft)	Rüzgar Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Çıkış Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Çıkış Tarafı kN/m (lb/ft)
1	12	1,21 (82,66)	1,37 (93,58)	1,64 (112,5)	1,86 (127,4)
2	24	1,38 (94,54)	1,37 (93,58)	1,88 (128,7)	1,86 (127,4)
3	36	1,55 (106,2)	1,37 (93,58)	2,11 (144,5)	1,86 (127,4)
4	48	1,68 (115,2)	1,37 (93,58)	2,29 (156,9)	1,86 (127,4)
5	60	1,79 (122,8)	1,37 (93,58)	2,44 (167,2)	1,86 (127,4)
6	72	1,89 (129,4)	1,37 (93,58)	2,57 (176,1)	1,86 (127,4)
7	84	1,97 (135,2)	1,37 (93,58)	2,69 (184,1)	1,86 (127,4)
8	96	2,05 (140,5)	1,37 (93,58)	2,79 (191,2)	1,86 (127,4)
9	108	2,12 (145,3)	1,37 (93,58)	2,89 (197,8)	1,86 (127,4)
10	120	1,09 (74,87)	0,68 (46,79)	1,49 (101,9)	0,93 (63,69)

Tablo 7.4 120mph ve 150mph (kN/m, lb/ft) rüzgar hızı altında rüzgar yükü değerleri

		V=120mph		V=150mph	
Kat	Z (ft)	Rüzgar Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Çıkış Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Çıkış Tarafı kN/m (lb/ft)
1	12	2,15 (146,9)	2,43 (166,4)	3,35 (229,6)	3,8 (260)
2	24	2,45 (168,1)	2,43 (166,4)	3,83 (262,6)	3,8 (260)
3	36	2,76 (188,7)	2,43 (166,4)	4,3 (294,9)	3,8 (260)
4	48	2,99 (204,9)	2,43 (166,4)	4,67 (320,1)	3,8 (260)
5	60	3,19 (218,4)	2,43 (166,4)	4,98 (341,2)	3,8 (260)
6	72	3,36 (230)	2,43 (166,4)	5,25 (359,4)	3,8 (260)
7	84	3,51 (240,4)	2,43 (166,4)	5,48 (375,6)	3,8 (260)
8	96	3,65 (249,7)	2,43 (166,4)	5,7 (390,2)	3,8 (260)
9	108	3,77 (258,3)	2,43 (166,4)	5,89 (403,6)	3,8 (260)
10	120	1,94 (133,1)	1,21 (83,18)	3,04 (208)	1,9 (130)

Her dört test durumu içinde, kolon elemanların boyutlandırılması için 297 hazır kesit içeren geniş başlıklı (W) profil listesi ve kiriş elemanların boyutlandırması için de alan ve atalet özelliklerini temel alarak geniş başlıklı profil listesinden seçilmiş olan 171 ekonomik ayırık kesit kümesi kullanılmıştır. Gerilme, stabilite ve geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] provizyonu dikkate alınmıştır. x ve y yönündeki tüm bağlantı noktalarının deplasmanları 9.15 cm (3.6 inch) ve katlar arası sapma miktarının üst limiti olarak 0.91 cm (0.36 inch) alınmıştır.

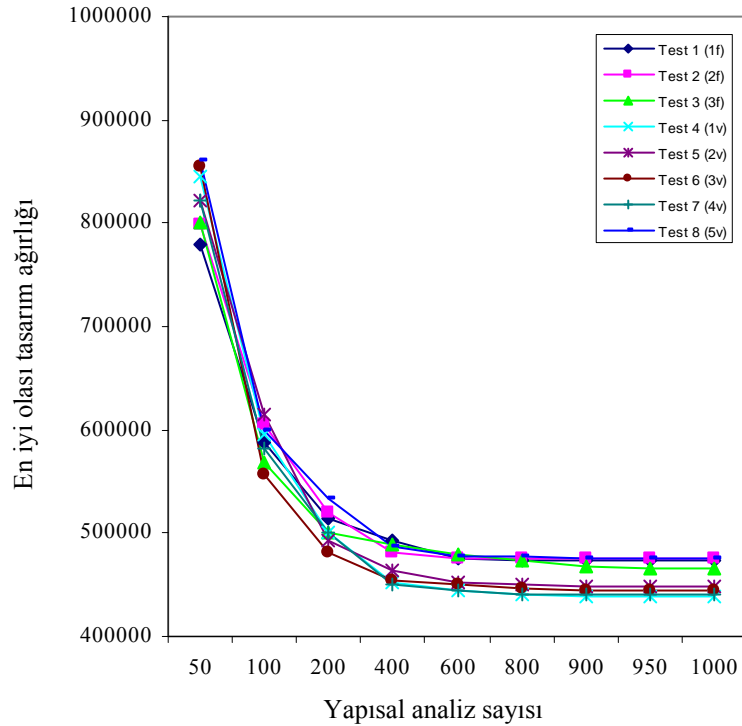
7.3.1.2 Test Sonuçları

Temel rüzgar hızının her durumu için ($V = 90, 105, 120$ ve 150 mph) ES tekniğinin stokastik doğası dikkate alınarak toplamda sekiz bağımsız analiz işletilmiştir. İlk olarak sadece boyut değişkenleri kullanılarak çerçeve ağırlığını minimize etmek için üç bağımsız analiz işletilmiştir. Daha sonra çerçeve ağırlığını minimize etmek için boyut değişkenlerinin oryantasyon değişkenleri ile eş zamanlı olarak birlikte kullanıldığı beş analiz daha işletilmiştir.

7.3.1.3 Temel rüzgar hızının V=90 mph olduğu durum

Temel rüzgar hızının V=90 mph olduğu durum için sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.5 'de her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri her analizde araştırma işlemi boyunca olası en iyi tasarımın gelişimini göstermek üzere Şekil 7.3 'de çizilmiştir. Uygulanan yapısal analiz sayısı bu grafiğin yatay ekseninde gösterilirken dikey eksen araştırma boyunca elde edilen olası en iyi tasarım ağırlıklarını gösterir.

Tablo 7.5 veya Şekil 7.3 'de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 465,884.61 lb (211,325.26 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 438,602.37 lb (198,950.035 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.6 'da karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni Şekil 7.4 'de gösterilmiştir. Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %5.9 azalmaya yol açtığı görülmüştür.



Şekil 7.3. V = 90 mph temel rüzgâr hızına sahip durum için tasarım geçmişi grafiği

Tablo 7.5 Temel rüzgar hızı V=90 mph olan durum için sekiz analizde 960 elemanlı çerçeve için elde edilen minimum tasarım ağırlıkları ve hacimleri

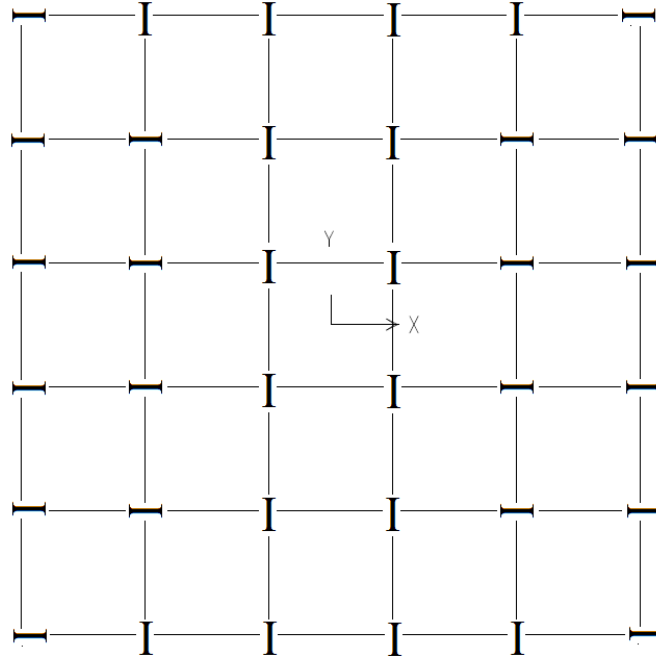
	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test 1	Test 2	Test 3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam ağırlık	473747,71	474685	465884,6	438602,4	448927,3	444330,1	440614,3	474839,5
Toplam hacim	1674020,2	1677332,1	1646235,4	1549831,7	1586315,5	1570070,9	1556941	1677877,9

Tablo 7.6 Temel rüzgâr hızı V=90 mph olan durum için 960 elemanlı çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W12X53	100,64 (15,6)	W8X48	90,97 (14,1)
2	W10X49	92,9 (14,4)	W10X45	85,81 (13,3)
3	W10X33	62,645 (9,71)	W10X33	62,645 (9,71)
4	W8X31	58,903 (9,13)	W14X34	64,52 (10)
5	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
6	W14X99	187,74 (29,1)	W12X65	123,23 (19,1)
7	W12X65	123,23 (19,1)	W10X54	101,94 (15,8)
8	W12X58	109,68 (17)	W10X49	92,9 (14,4)
9	W10X45	85,81 (13,3)	W8X35	66,45 (10,3)
10	W8X31	58,903 (9,13)	W12X26	49,355 (7,65)
11	W14X74	140,64 (21,8)	W18X76	143,87 (22,3)
12	W12X65	123,23 (19,1)	W10X60	113,55 (17,6)
13	W10X49	92,9 (14,4)	W10X49	92,9 (14,4)
14	W12X40	76,13 (11,8)	W12X40	76,13 (11,8)
15	W8X31	58,903 (9,13)	W12X26	49,355 (7,65)
16	W14X109	206,45 (32)	W14X109	206,45 (32)
17	W12X96	181,94 (28,2)	W12X96	181,94 (28,2)
18	W10X77	145,81 (22,6)	W18X76	143,87 (22,3)
19	W12X53	100,64 (15,6)	W10X49	92,9 (14,4)
20	W10X49	92,9 (14,4)	W8X28	53,226 (8,25)
21	W14X109	206,45 (32)	W21X111	210,97 (32,7)
22	W14X99	187,74 (29,1)	W14X90	170,97 (26,5)
23	W12X79	149,68 (23,2)	W12X72	136,13 (21,1)
24	W12X53	100,64 (15,6)	W10X54	101,94 (15,8)

Tablo 7.6 (devamı)

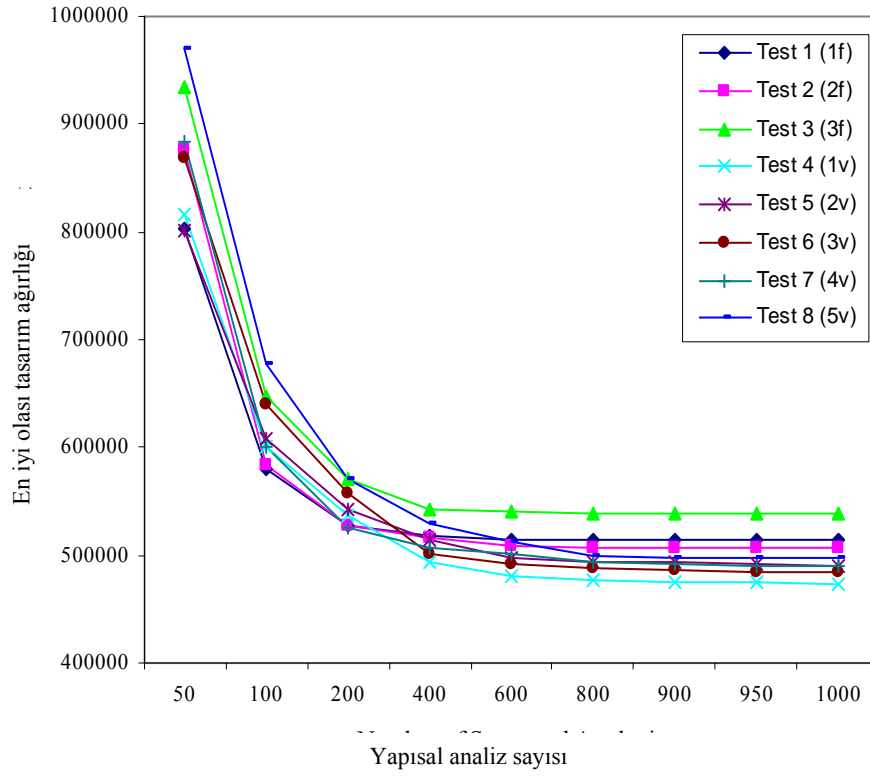
25	W8X31	58,903 (9,13)	W8X28	53,226 (8,25)
26	W24X131	248,39 (38,5)	W14X109	206,45 (32)
27	W14X90	170,97 (26,5)	W14X99	187,74 (29,1)
28	W12X72	136,13 (21,1)	W12X72	136,13 (21,1)
29	W10X49	92,9 (14,4)	W12X53	100,64 (15,6)
30	W8X28	53,226 (8,25)	W8X28	53,226 (8,25)
31	W14X120	227,74 (35,3)	W14X99	187,74 (29,1)
32	W14X90	170,97 (26,5)	W14X90	170,97 (26,5)
33	W12X72	136,13 (21,1)	W12X65	123,23 (19,1)
34	W12X65	123,23 (19,1)	W12X53	100,64 (15,6)
35	W8X31	58,903 (9,13)	W12X30	56,71 (8,79)
36	W8X18	33,935 (5,26)	W14X22	41,871 (6,49)
37	W14X22	41,871 (6,49)	W14X22	41,871 (6,49)
38	W14X22	41,871 (6,49)	W14X22	41,871 (6,49)
39	W6X16	30,581 (4,74)	W8X18	33,935 (5,26)
40	W6X15	28,581 (4,43)	W6X12	22,903 (3,55)
41	W16X26	49,548 (7,68)	W12X26	49,355 (7,65)
42	W14X26	49,613 (7,69)	W16X26	49,548 (7,68)
43	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
44	W14X22	41,871 (6,49)	W14X22	41,871 (6,49)
45	W8X18	33,935 (5,26)	W8X18	33,935 (5,26)
Ağırlık	465,884.61 lb (211,325.26 kg)		438,602.37lb (198,950.035kg).	



Şekil 7.4 Temel rüzgar hızı $V=90$ mph olan durum için 960 elemanlı çelik çerçeve için kolon oryantasyonunun optimal düzeni

7.3.1.4 Temel rüzgar hızının $V=105$ mph olduğu durum

Temel rüzgar hızının $V=105$ mph olduğu durum için sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.7 'de her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri her analizde araştırma işlemi boyunca olası en iyi tasarımın gelişimini göstermek üzere Şekil 7.5 'de çizilmiştir. Tablo 7.7 veya Şekil 7.5 'de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 507,432.09 lb (230,171.196 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 473,395.61 lb (214,732.25 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.8 'de karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni Şekil 7.6 'da gösterilmiştir. Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %6.7 azalmaya yol açtığı görülmüştür.



Şekil 7.5 $V = 105$ mph temel rüzgar hızına sahip durum için tasarım geçmişi grafiği

Tablo 7.7 Temel rüzgar hızı $V=105$ mph olan durum için sekiz analizde 960 elemanlı çerçeve için elde edilen minimum tasarım ağırlıkları ve hacimleri

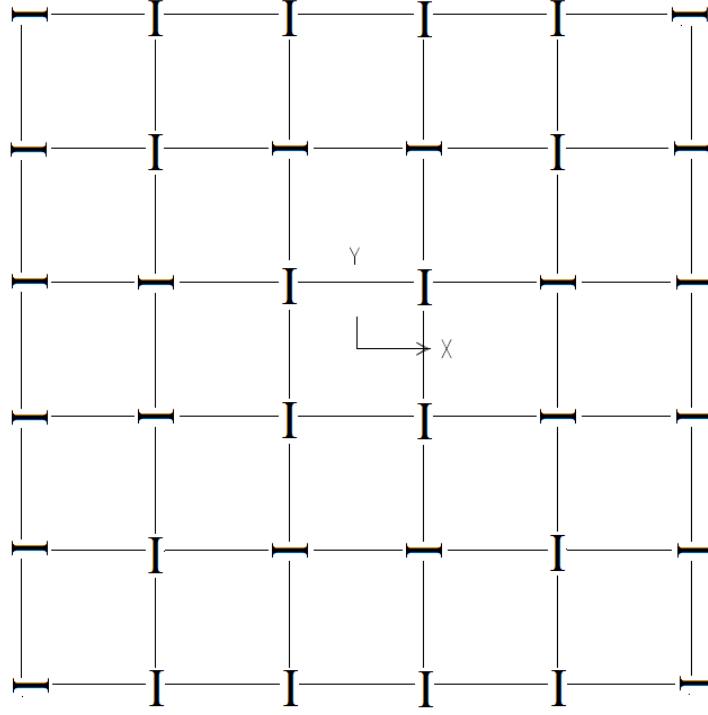
	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam ağırlık	513907,2	507432,1	539275,7	473395,6	490608,0	485069,8	489478,0	496842,7
Toplam hacim	815926,4	1793046,2	1905567,8	1672776	733597,3	714027,7	1729604,2	1755627,8

Tablo 7.8 Temel rüzgar hızı V=105 mph olan durum için 960 elemanlı çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W8X40	75,48 (11,7)	W12X65	123,23 (19,1)
2	W10X39	74,19 (11,5)	W10X54	101,94 (15,8)
3	W10X33	62,645 (9,71)	W14X43	81,29 (12,6)
4	W12X30	56,71 (8,79)	W10X33	62,645 (9,71)
5	W12X26	49,355 (7,65)	W12X26	49,355 (7,65)
6	W14X90	170,97 (26,5)	W12X65	123,23 (19,1)
7	W12X72	136,13 (21,1)	W12X58	109,68 (17)
8	W12X65	123,23 (19,1)	W10X49	92,9 (14,4)
9	W10X49	92,9 (14,4)	W10X39	74,19 (11,5)
10	W8X31	58,903 (9,13)	W12X26	49,355 (7,65)
11	W16X67	127,1 (19,7)	W12X65	123,23 (19,1)
12	W12X65	123,23 (19,1)	W12X58	109,68 (17)
13	W10X54	101,94 (15,8)	W10X49	92,9 (14,4)
14	W10X39	74,19 (11,5)	W8X40	75,48 (11,7)
15	W8X31	58,903 (9,13)	W8X24	45,677 (7,08)
16	W14X120	227,74 (35,3)	W18X130	246,45 (38,2)
17	W10X112	212,26 (32,9)	W14X99	187,74 (29,1)
18	W12X87	165,16 (25,6)	W14X90	170,97 (26,5)
19	W12X58	109,68 (17)	W12X58	109,68 (17)
20	W8X31	58,903 (9,13)	W8X31	58,903 (9,13)
21	W24X131	248,39 (38,5)	W14X109	206,45 (32)
22	W14X109	206,45 (32)	W14X90	170,97 (26,5)
23	W12X87	165,16 (25,6)	W12X79	149,68 (23,2)
24	W12X58	109,68 (17)	W12X58	109,68 (17)
25	W8X31	58,903 (9,13)	W8X31	58,903 (9,13)
26	W36X150	285,16 (44,2)	W24X117	221,94 (34,4)

Tablo 7.8 (devamı)

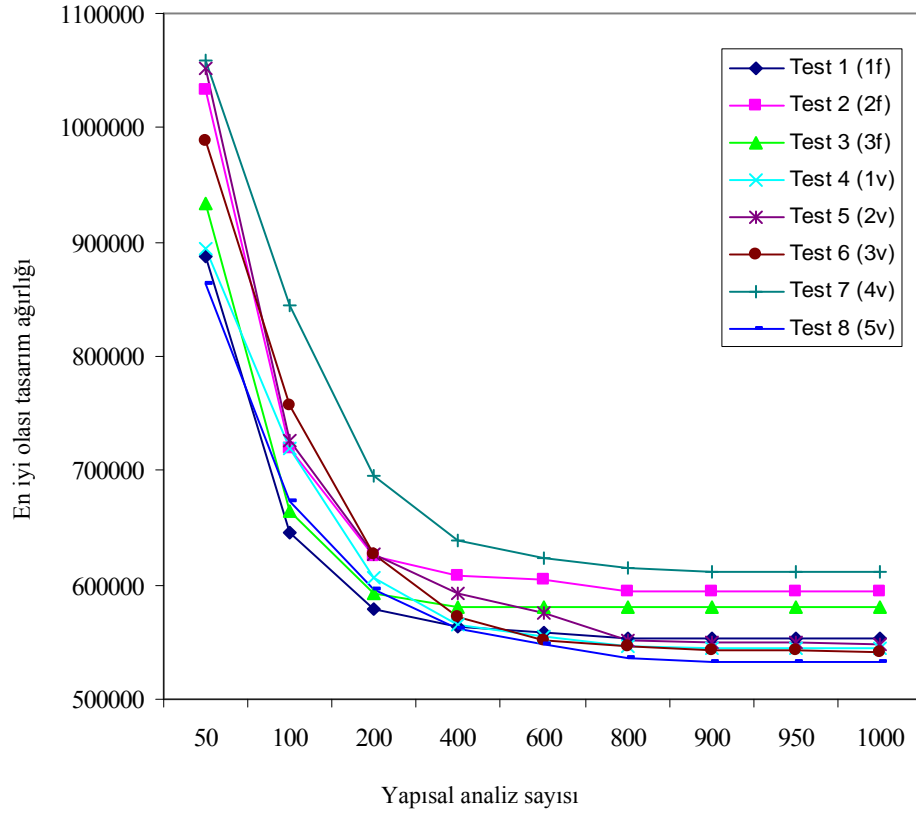
27	W14X109	206,45 (32)	W14X99	187,74 (29,1)
28	W12X79	149,68 (23,2)	W12X79	149,68 (23,2)
29	W10X54	101,94 (15,8)	W12X53	100,64 (15,6)
30	W8X31	58,903 (9,13)	W16X40	76,13 (11,8)
31	W14X132	250,32 (38,8)	W14X109	206,45 (32)
32	W14X99	187,74 (29,1)	W14X99	187,74 (29,1)
33	W18X97	183,87 (28,5)	W12X79	149,68 (23,2)
34	W12X58	109,68 (17)	W12X53	100,64 (15,6)
35	W8X31	58,903 (9,13)	W12X30	56,71 (8,79)
36	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
37	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
38	W14X22	41,871 (6,49)	W8X18	33,935 (5,26)
39	W8X18	33,935 (5,26)	W8X18	33,935 (5,26)
40	W6X15	28,581 (4,43)	W6X16	30,581 (4,74)
41	W18X35	66,45 (10,3)	W16X31	58,839 (9,12)
42	W12X26	49,355 (7,65)	W16X31	58,839 (9,12)
43	W16X26	49,548 (7,68)	W16X26	49,548 (7,68)
44	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
45	W8X21	39,742 (6,16)	W8X21	39,742 (6,16)
Ağırlık	230171.20kg (507432.09lb)		214735.25kg (473395.61lb)	



Şekil 7.6 Temel rüzgar hızı $V=105$ mph ve 120 mph olan durum için 960 elemanlı çelik çerçeve için kolon oryantasyonunun optimal düzeni

7.3.1.5 Temel rüzgar hızının $V=120$ mph olduğu durum

Temel rüzgar hızının $V=120$ mph olduğu durum için sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.9 'da her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri her analizde araştırma işlemi boyunca olası en iyi tasarımın gelişimini göstermek üzere Şekil 7.7 'de çizilmiştir. Tablo 7.9 veya Şekil 7.7 'de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 553,079.62 lb (250,876.92 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 532,413.88 lb (241,502.94 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.10 'da karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni temel rüzgar hızının $V=105$ mph olan durum ile tamamen aynıdır (Şekil 7.6). Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %3.7 azalmaya yol açtığı görülmüştür.



Şekil 7.7 $V = 120$ mph temel rüzgar hızına sahip durum için tasarım geçmişi grafiği

Tablo 7.9 Temel rüzgar hızı $V=120$ mph olan durum için sekiz analizde 960 elemanlı çerçeve için elde edilen minimum tasarım ağırlıkları ve hacimleri

	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam ağırlık	553079,62	594861,83	580816,66	543948,32	548797	541722,04	610655,27	532413,88
Toplam hacim	1954345	2101985,28	2052355,7	1922078,88	1939212	1914212,2	2157792,5	1881321,1

Tablo 7.10 Temel rüzgâr hızı V=120 mph olan durum için 960 elemanlı çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

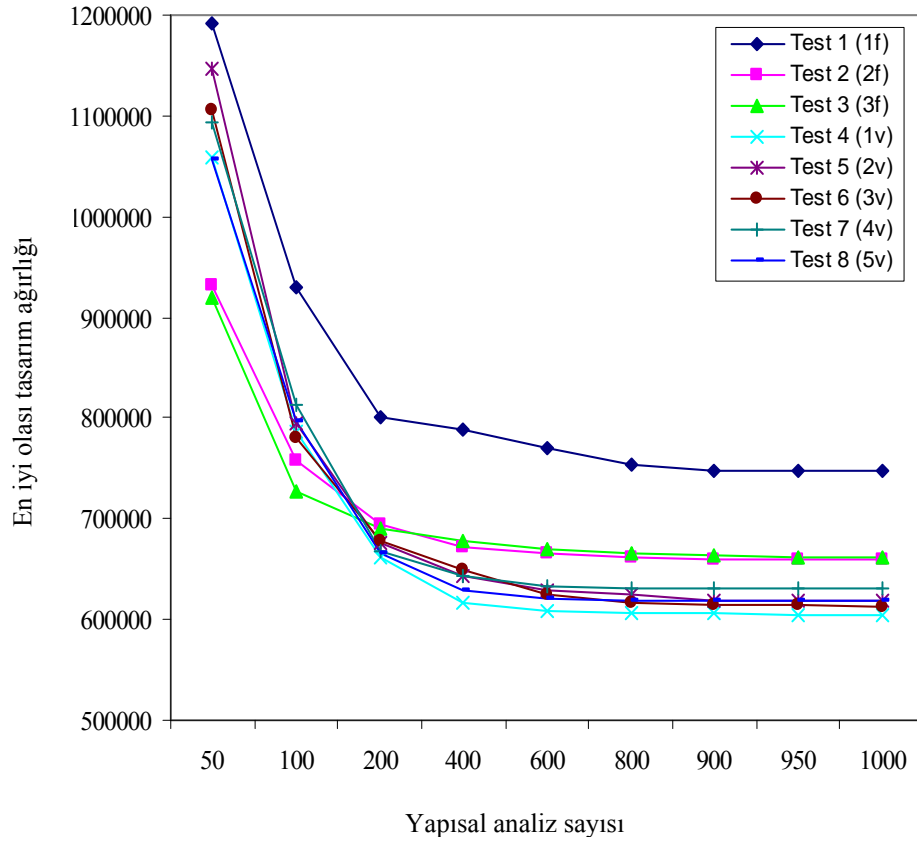
Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W8X48	90,97 (14,1)	W16X67	127,1 (19,7)
2	W14X48	90,97 (14,1)	W12X50	94,84 (14,7)
3	W8X31	58,903 (9,13)	W14X43	81,29 (12,6)
4	W12X26	49,355 (7,65)	W8X40	75,48 (11,7)
5	W8X21	39,742 (6,16)	W8X24	45,677 (7,08)
6	W14X90	170,97 (26,5)	W14X68	129,03 (20)
7	W12X79	149,68 (23,2)	W16X67	127,1 (19,7)
8	W12X65	123,23 (19,1)	W10X49	92,9 (14,4)
9	W10X49	92,9 (14,4)	W8X40	75,48 (11,7)
10	W8X31	58,903 (9,13)	W12X26	49,355 (7,65)
11	W18X97	183,87 (28,5)	W12X72	136,13 (21,1)
12	W12X79	149,68 (23,2)	W12X65	123,23 (19,1)
13	W16X67	127,1 (19,7)	W14X68	129,03 (20)
14	W14X48	90,97 (14,1)	W14X43	81,29 (12,6)
15	W8X31	58,903 (9,13)	W8X28	53,226 (8,25)
16	W14X132	250,32 (38,8)	W40X149	282,58 (43,8)
17	W12X106	201,29 (31,2)	W14X109	206,45 (32)
18	W12X96	181,94 (28,2)	W12X79	149,68 (23,2)
19	W12X53	100,64 (15,6)	W27X84	160 (24,8)
20	W8X31	58,903 (9,13)	W8X31	58,903 (9,13)
21	W14X145	275,48 (42,7)	W33X152	288,39 (44,7)
22	W14X109	206,45 (32)	W14X109	206,45 (32)
23	W14X90	170,97 (26,5)	W21X111	210,97 (32,7)
24	W14X90	170,97 (26,5)	W12X65	123,23 (19,1)
25	W10X49	92,9 (14,4)	W8X35	66,45 (10,3)
26	W12X152	288,39 (44,7)	W24X117	221,94 (34,4)

Tablo 7.10 (devamı)

27	W14X109	206,45 (32)	W14X99	187,74 (29,1)
28	W10X88	167,1 (25,9)	W12X96	181,94 (28,2)
29	W12X87	165,16 (25,6)	W12X58	109,68 (17)
30	W8X31	58,903 (9,13)	W10X33	62,645 (9,71)
31	W14X159	301,29 (46,7)	W21X122	231,61 (35,9)
32	W14X109	206,45 (32)	W14X120	227,74 (35,3)
33	W14X90	170,97 (26,5)	W14X90	170,97 (26,5)
34	W10X60	113,55 (17,6)	W12X65	123,23 (19,1)
35	W8X31	58,903 (9,13)	W8X31	58,903 (9,13)
36	W16X26	49,548 (7,68)	W14X26	49,613 (7,69)
37	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
38	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
39	W12X26	49,355 (7,65)	W14X22	41,871 (6,49)
40	W8X18	33,935 (5,26)	W6X15	28,581 (4,43)
41	W16X31	58,839 (9,12)	W16X31	58,839 (9,12)
42	W14X30	57,097 (8,85)	W21X44	83,87 (13)
43	W14X26	49,613 (7,69)	W12X26	49,355 (7,65)
44	W16X31	58,839 (9,12)	W16X26	49,548 (7,68)
45	W10X22	41,871 (6,49)	W8X21	39,742 (6,16)
Ağırlık	250876.92kg (553079,62lb)		241502.94kg (532413,88lb)	

7.3.1.6 Temel rüzgar hızının V=150 mph olduğu durum

Temel rüzgar hızının V=150 mph olduğu durum için sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.11 'de her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri her analizde araştırma işlemi boyunca olası en iyi tasarımın gelişimini göstermek üzere Şekil 7.8 'de çizilmiştir. Tablo 7.11 veya Şekil 7.8 'de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 660,182.40 lb (299,458.74 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 604,324.86 lb (274,121.76 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.12 'de karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni temel Şekil 7.9 'da gösterilmiştir. Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %8.5 azalmaya yol açtığı görülmüştür.



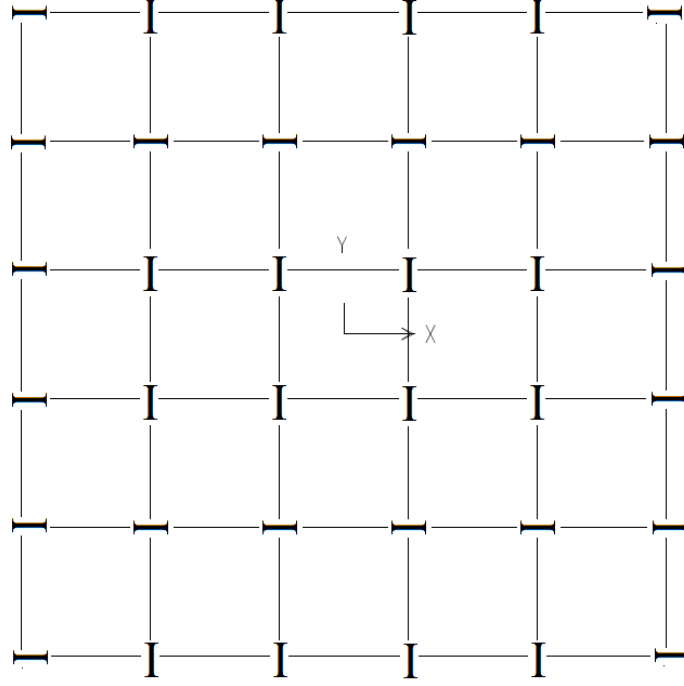
Şekil 7.8 $V = 150$ mph temel rüzgâr hızına sahip durum için tasarım geçmişi grafiği

Tablo 7.11 Temel rüzgâr hızı $V=150$ mph olan durum için sekiz analizde 960 elemanlı çerçeve için elde edilen minimum tasarım ağırlıkları ve hacimleri

	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Test6	Test7	Test8
Toplam ağırlık	747817,54	660182,4	662060,25	604324,86	617909,54	612631,74	631117,26	618032,2
Toplam hacim	2642464,8	2332800	2339435,5	2135423,52	2183425,9	2164776,5	2230096,3	2183859,4

Tablo 7.12 Temel rüzgâr hızı V=150 mph olan durum için 960 elemanlı çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W21X62	118,06 (18,3)	W12X65	123,23 (19,1)
2	W10X39	74,19 (11,5)	W12X53	100,64 (15,6)
3	W16X40	76,13 (11,8)	W8X48	90,97 (14,1)
4	W14X30	57,097 (8,85)	W8X31	58,903 (9,13)
5	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
6	W14X145	275,48 (42,7)	W12X87	165,16 (25,6)
7	W24X104	197,42 (30,6)	W12X65	123,23 (19,1)
8	W12X65	123,23 (19,1)	W12X58	109,68 (17)
9	W12X65	123,23 (19,1)	W14X48	90,97 (14,1)
10	W10X45	85,81 (13,3)	W12X26	49,355 (7,65)
11	W27X94	178,71 (27,7)	W16X100	189,68 (29,4)
12	W18X86	163,23 (25,3)	W12X72	136,13 (21,1)
13	W16X67	127,1 (19,7)	W10X60	113,55 (17,6)
14	W10X49	92,9 (14,4)	W10X49	92,9 (14,4)
15	W8X31	58,903 (9,13)	W10X33	62,645 (9,71)
16	W40X192	364,52 (56,5)	W14X145	275,48 (42,7)
17	W14X132	250,32 (38,8)	W14X132	250,32 (38,8)
	W14X109	206,45 (32)	W12X106	201,29 (31,2)
19	W14X90	170,97 (26,5)	W12X65	123,23 (19,1)
20	W12X65	123,23 (19,1)	W14X43	81,29 (12,6)
21	W12X170	322,58 (50)	W14X132	250,32 (38,8)
22	W40X192	364,52 (56,5)	W14X145	275,48 (42,7)
23	W14X99	187,74 (29,1)	W14X99	187,74 (29,1)
24	W12X79	149,68 (23,2)	W16X67	127,1 (19,7)
25	W10X45	85,81 (13,3)	W10X39	74,19 (11,5)
26	W14X176	334,19 (51,8)	W30X173	327,74 (50,8)
27	W27X146	276,77 (42,9)	W12X136	257,42 (39,9)
28	W14X145	275,48 (42,7)	W14X90	170,97 (26,5)
29	W12X72	136,13 (21,1)	W18X86	163,23 (25,3)
30	W12X40	76,13 (11,8)	W8X40	75,48 (11,7)
31	W30X191	361,93 (56,1)	W27X161	305,81 (47,4)
32	W14X120	227,74 (35,3)	W12X152	288,39 (44,7)
33	W14X132	250,32 (38,8)	W14X109	206,45 (32)
34	W14X82	155,48 (24,1)	W18X76	143,87 (22,3)
35	W10X45	85,81 (13,3)	W12X40	76,13 (11,8)
36	W14X22	41,871 (6,49)	W14X22	41,871 (6,49)
37	W21X44	83,87 (13)	W10X22	41,871 (6,49)
38	W14X22	41,871 (6,49)	W8X21	39,742 (6,16)
39	W14X22	41,871 (6,49)	W14X22	41,871 (6,49)
40	W6X15	28,581 (4,43)	W5X16	30,193 (4,68)
41	W21X44	83,87 (13)	W18X46	87,1 (13,5)
42	W18X40	76,13 (11,8)	W21X44	83,87 (13)
43	W18X35	66,45 (10,3)	W18X35	66,45 (10,3)
44	W12X26	49,355 (7,65)	W14X30	57,097 (8,85)
45	W10X22	41,871 (6,49)	W10X22	41,871 (6,49)
Ağırlık	299458.74kg (660182,4lb)		274121.76kg (604324,86lb).	



Şekil 7.9 Temel rüzgar hızı $V=150$ mph olan durum için 960 elemanlı çelik çerçeve için kolon oryantasyonunun optimal düzeni

7.3.2 568 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

7.3.2.1 Yapısal Sistem

İkinci tasarım örneği 256 birleşim noktası ve 568 elemandan oluşan 10 katlı çaprazsız uzay çelik çerçevedir. Şekil 7.10 'da bu yapının 3D, rakım ve plan görüşleri gösterilmiştir. Yapı iki bölümden oluşur. İlk üç kat (bölüm 1) x ve y yönlerinde 5 açıklığa sahipken yukarıda kalan yedi kat (bölüm 2) x ve y yönlerinde düzenli açıklık boşluğu 20 ft (6.10 m) olan üç açıklığa sahiptir. Her kat 12 ft yüksekliğe sahiptir ve böylece yapının toplam yüksekliği 120 ft (36.58 m) 'dir. Çerçevenin stabilitesi moment dirençli bağlantılar ile sağlanmıştır ve kolonlar temele sabitlenmiştir.

Pratik fabrikasyon gereksinimlerini sağlamak için çerçevenin 568 elemanı 33 eleman boyut grubu (boyut tasarım değişkenleri) altında toplanmıştır; 23 kolon boyut grubu ve 10 kiriş boyut grubu. Eleman grupları Tablo 7.13 'de açık bir şekilde gösterilmiştir. Eleman gruplandırmaları hem plan hem de rakım seviyelerinde uygulanmıştır. Plan seviyesinde bölüm

1 ve 2 için kolon gruplandırması Şekil 7.11 'de gösterilmiştir. Diğer taraftan kirişler plan seviyesinde iç ve dış kirişler olarak iki grup altında toplanmıştır. Rakım seviyesi gruplandırmasında eleman grupları ilk bölüm için her üç katta bir aynı olacak şekilde ve ikinci bölüm için de her iki katta bir aynı olacak şekilde yapılmıştır.

Oryantasyon değişkenleri, pratik uygulama gereksinimlerine göre çerçeve yüksekliğince peş peşe gelen tüm kolonlar (dikey çizgi üzerinde uzanan kolonlar) aynı oryantasyona sahip olmalıdır fikrine uygun olarak tanımlanmıştır. Bu yüzden Şekil 7.11 'de gösterilen her kolon grubu bir oryantasyon değişkeni ile ilişkilidir. Böylece problemde toplam yedi oryantasyon değişkeni tanımlanmıştır.

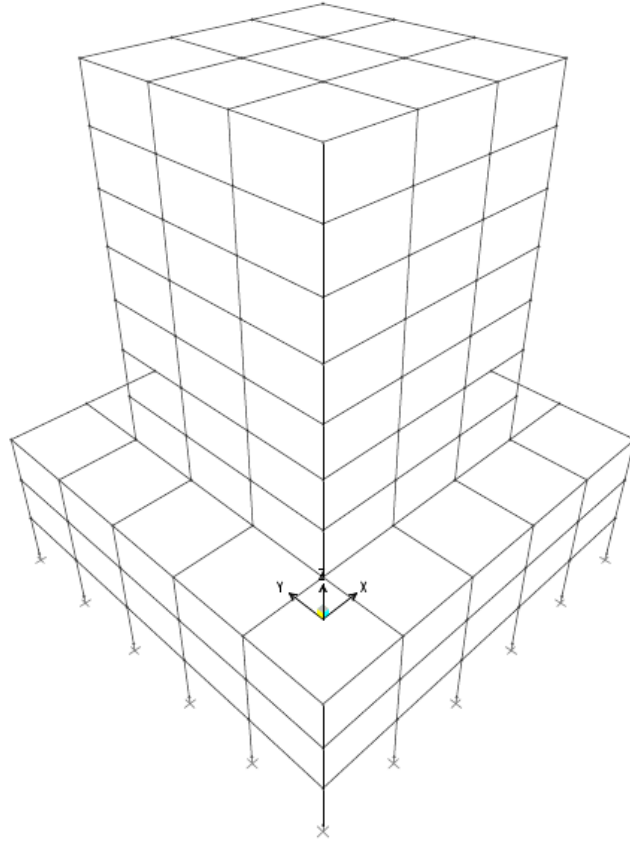
Çerçeve yerçekimi ve rüzgâr kuvvetlerinin birleşimi olan iki yükleme durumuna maruz bırakılmıştır. Yük durumları ve kombinasyonları Bölüm 5.1 'de açıklandığı gibi ASCE 7-05 [ASCE, 2005] 'e göre kararlaştırılmıştır. Kat ve çatı kirişlerinin üzerine gelen yerçekimi yükleri Tablo 7.14 'de verilmiştir ve çerçevenin rüzgar tarafı ve rüzgar çıkış tarafı yüzlerine etkiyen $V=105$ mph temel rüzgar hızına sahip rüzgar yükü Tablo 7.15 'de sunulmuştur.

Kolon elemanların boyutlandırılması için 297 hazır kesit içeren geniş başlıklı (W) profil listesi ve kiriş elemanların boyutlandırması için de alan ve atalet özelliklerini temel alarak geniş başlıklı profil listesinden seçilmiş olan 171 ekonomik ayırık kesit kümesi kullanılmıştır. Gerilme, stabilite ve geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] provizyonu dikkate alınmıştır. x ve y yönündeki tüm bağlantı noktalarının deplasmanları 9.15 cm (3.6 inch) ve katlar arası sapma miktarının üst limiti olarak 0.91 cm (0.36 inch) alınmıştır.

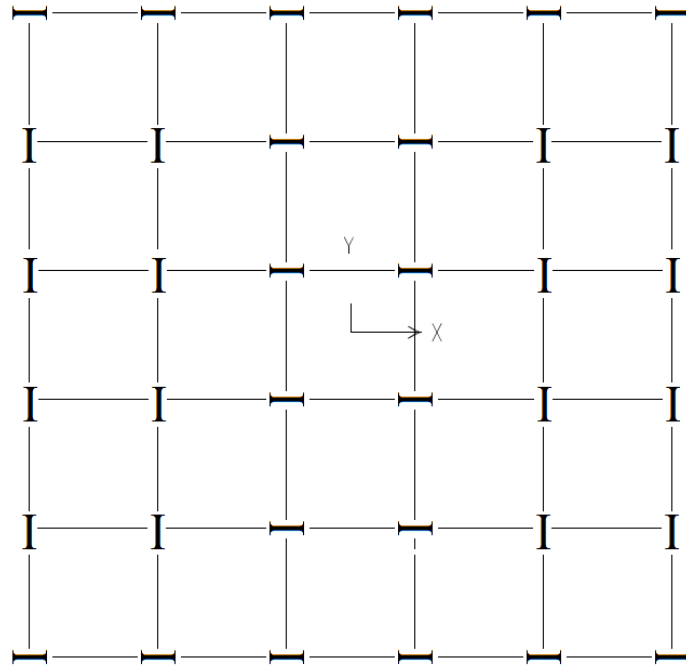
İki tasarım durumu çalışılmıştır. İlk olarak yapı, sadece kolon elemanların başlangıç oryantasyonları sabit tutulan tasarım değişkenleri dikkate alınarak minimum ağırlık için tasarlanmıştır. İkinci olarak boyut ve oryantasyon tasarım değişkenleri çerçevenin ağırlığını minimize edebilmek için birlikte uygulanmıştır.

Tablo 7.13 568 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

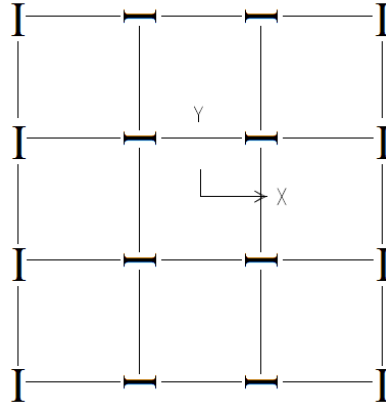
Eleman Grubu	Grup İsmi	Eleman Grubu	Grup İsmi
1	1., 2. & 3. kat köşe kolonları	18	10. kat y-z yönündeki iç kolonlar
2	1., 2. & 3. kat x-z yönündeki dış kolonlar	19	1., 2. & 3. kat iç kolonları
3	1., 2. & 3. kat y-z yönündeki dış kolonlar	20	4. & 5. kat iç kolonları
4	1., 2. & 3. kat iç köşe kolonları	21	6. & 7. kat iç kolonları
5	4. & 5. kat iç köşe kolonları	22	8. & 9. kat iç kolonları
6	6. & 7. kat iç köşe kolonları	23	10. kat iç kolonları
7	8. & 9. kat iç köşe kolonları	24	1., 2. & 3. kat dış kirişleri
8	10. kat iç köşe kolonları	25	1., 2. & 3. kat iç kirişleri
9	1., 2. & 3. kat x-z yönündeki iç kolonlar	26	4. & 5. kat dış kirişleri
10	4. & 5. kat x-z yönündeki iç kolonlar	27	6. & 7. kat dış kirişleri
11	6. & 7. kat x-z yönündeki iç kolonlar	28	8. & 9. kat dış kirişleri
12	8. & 9. kat x-z yönündeki iç kolonlar	29	10. kat dış kirişleri
13	10. kat x-z yönündeki iç kolonlar	30	4. & 5. kat iç kirişleri
14	1., 2. & 3. kat y-z yönündeki iç kolonlar	31	6. & 7. kat iç kirişleri
15	4. & 5. kat y-z yönündeki iç kolonlar	32	8. & 9. kat iç kirişleri
16	6. & 7. kat y-z yönündeki iç kolonlar	33	10. kat iç kirişleri
17	8. & 9. kat y-z yönündeki iç kolonlar		



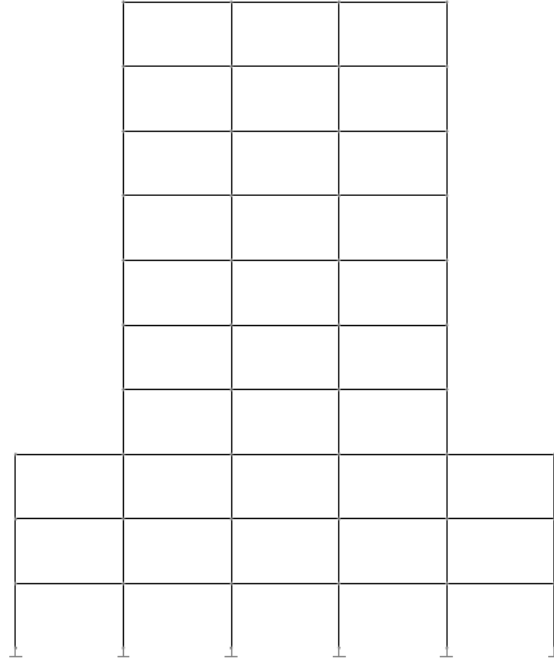
(a) 3D görünüş



(b) 5x5 açıklık plan görünüşü

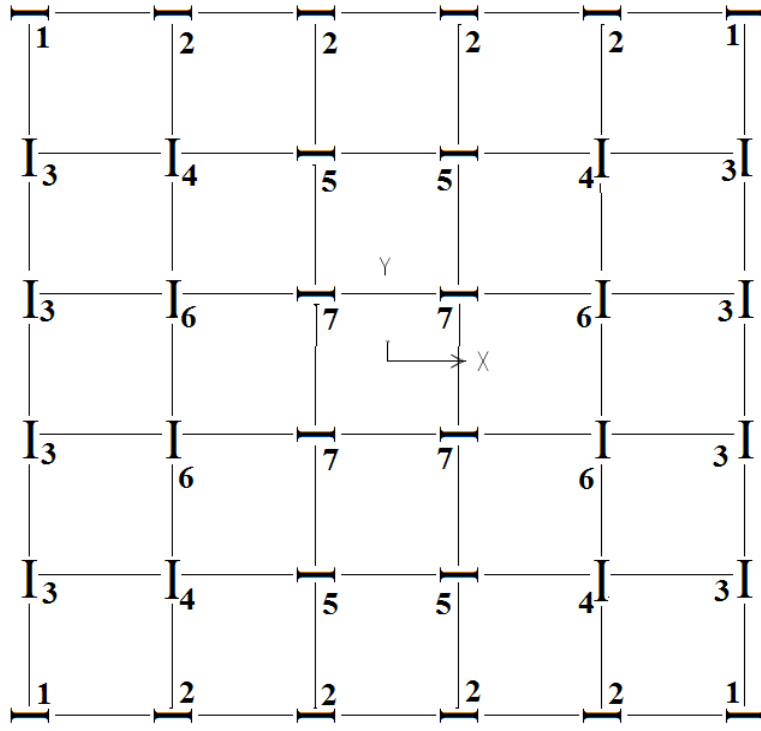


(c) 3x3 açıklık plan görünüşü

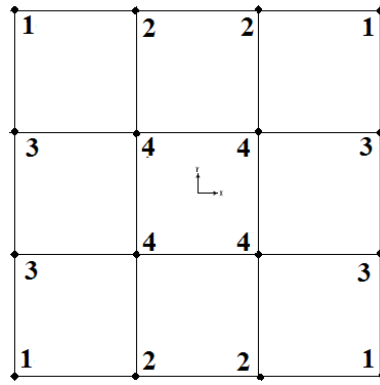


(d) Yan görünüş

Şekil 7.10 568 elemanlı çelik çerçeve



(a) Bölüm 1



(b) Bölüm 2

Şekil 7.11 568 elemanlı çelik çerçevenin plan seviyesindeki eleman gruplandırması

Tablo 7.14 568 elemanlı çelik çerçevenin kirişleri üzerindeki dikey yükler

Kiriş Tipi	Düzgün Yayılı Yük	
	Dış Kirişler	İç Kirişler
	kN/m (lb/ft)	kN/m (lb/ft)
Çatı Kirişleri	7.36 (505.87)	14.72 (1011.74)
Kat Kirişleri	10.72 (734.2)	21.43 1468.4)

Tablo 7.15 105mph (kN/m, lb/ft) rüzgar hızı altında rüzgar yükü değerleri

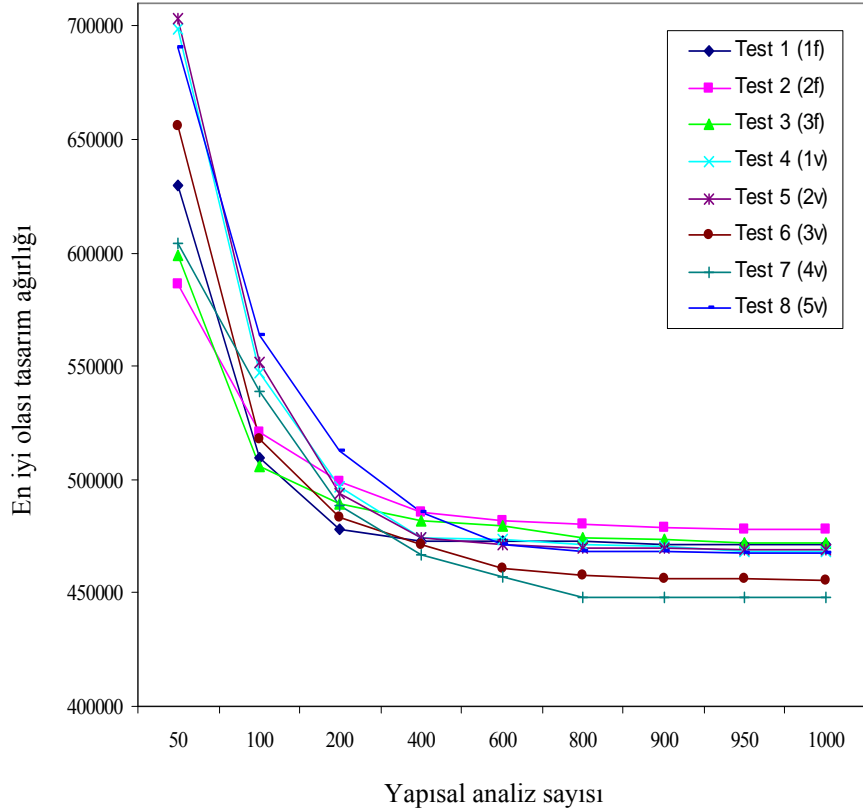
Kat	z (ft)	Rüzgâr Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgâr Çıkışı Tarafı kN/m (lb/ft)
1	12	1,64 (112,5)	1,86 (127,4)
2	24	1,88 (128,7)	1,86 (127,4)
3	36	2,11 (144,5)	1,86 (127,4)
4	48	2,29 (156,9)	1,86 (127,4)
5	60	2,44 (167,2)	1,86 (127,4)
6	72	2,57 (176,1)	1,86 (127,4)
7	84	2,69 (184,1)	1,86 (127,4)
8	96	2,79 (191,2)	1,86 (127,4)
9	108	2,89 (197,8)	1,86 (127,4)
10	120	1,49 (101,9)	0,93 (63,69)

7.3.2.2 Test Sonuçları

AES tekniğinin stokastik doğası dikkate alınarak toplam sekiz bağımsız analiz işletilmiştir. İlk olarak sadece boyut değişkenleri kullanılarak çerçeve ağırlığını minimize etmek için üç bağımsız analiz işletilmiştir. Daha sonra çerçeve ağırlığını minimize etmek için boyut değişkenlerinin oryantasyon değişkenleri ile eş zamanlı olarak birlikte kullanıldığı beş analiz daha işletilmiştir.

Sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.16 ‘da her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri Şekil 7.12 ‘de çizilmiştir. Tablo 7.16 veya Şekil 7.12 ‘de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 471,494.12 lb (213,869.73 kg) ‘dır. Optimizasyon işlemi kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı

447,673.76 lb (203,064.82 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.6 'da karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni Şekil 7.13 'de gösterilmiştir. Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %5.1 azalmaya yol açtığı görülmüştür.



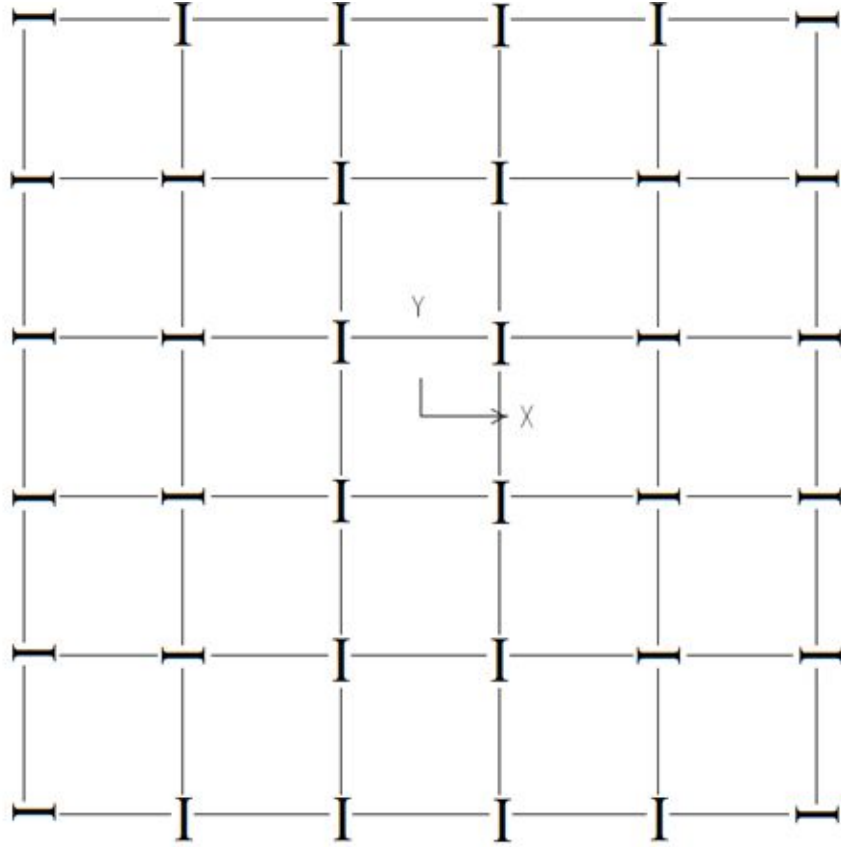
Şekil 7.12 568 elemanlı çelik çerçevenin tasarım geçmişi grafiği

Tablo 7.16 568 elemanlı çelik çerçeve için sekiz analizde elde edilen ağırlık ve hacimler

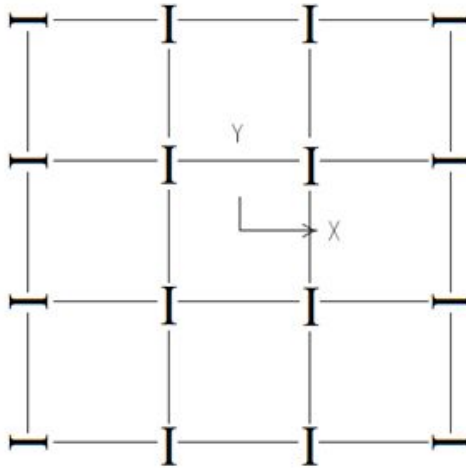
	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam Ağırlık	471494,12	478012,81	472354,8	468069,32	469270,69	455403,6	447673,76	467502,05
Toplam Hacim	1666057	1689091,2	1669098,2	1653955,2	1658200,3	1609200	1581886,1	1651950,7

Tablo 7.17 568 elemanlı çelik çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W8X31	58,903 (9,13)	W8X40	75,48 (11,7)
2	W12X65	123,23 (19,1)	W12X58	109,68 (17)
3	W10X45	85,81 (13,3)	W10X49	92,9 (14,4)
4	W12X79	149,68 (23,2)	W14X99	187,74 (29,1)
5	W14X61	115,48 (17,9)	W12X65	123,23 (19,1)
6	W12X58	109,68 (17)	W12X53	100,64 (15,6)
7	W16X40	76,13 (11,8)	W12X53	100,64 (15,6)
8	W12X30	56,71 (8,79)	W10X39	74,19 (11,5)
9	W40X192	364,52 (56,5)	W14X132	250,32 (38,8)
10	W24X131	248,39 (38,5)	W14X90	170,97 (26,5)
11	W14X90	170,97 (26,5)	W12X79	149,68 (23,2)
12	W12X72	136,13 (21,1)	W14X53	100,64 (15,6)
13	W10X54	101,94 (15,8)	W8X31	58,903 (9,13)
14	W36X135	256,13 (39,7)	W14X132	250,32 (38,8)
15	W14X99	187,74 (29,1)	W14X90	170,97 (26,5)
16	W14X90	170,97 (26,5)	W12X79	149,68 (23,2)
17	W12X65	123,23 (19,1)	W10X49	92,9 (14,4)
18	W10X39	74,19 (11,5)	W10X26	49,097 (7,61)
19	W40X221	418,06 (64,8)	W14X193	366,45 (56,8)
20	W14X159	301,29 (46,7)	W14X159	301,29 (46,7)
21	W14X109	206,45 (32)	W14X109	206,45 (32)
22	W12X72	136,13 (21,1)	W16X89	169,03 (26,2)
23	W8X24	45,677 (7,08)	W12X30	56,71 (8,79)
24	W12X26	49,355 (7,65)	W10X22	41,871 (6,49)
25	W18X40	76,13 (11,8)	W18X40	76,13 (11,8)
26	W18X35	66,45 (10,3)	W18X35	66,45 (10,3)
27	W16X36	68,39 (10,6)	W14X30	57,097 (8,85)
28	W14X30	57,097 (8,85)	W12X26	49,355 (7,65)
29	W8X21	39,742 (6,16)	W8X18	33,935 (5,26)
30	W16X40	76,13 (11,8)	W21X50	94,84 (14,7)
31	W16X36	68,39 (10,6)	W16X36	68,39 (10,6)
32	W14X30	57,097 (8,85)	W14X30	57,097 (8,85)
33	W12X26	49,355 (7,65)	W10X26	49,097 (7,61)
Ağırlık	213869.73kg (471494.12lb)		203064.82kg (447673,76lb)	



(a) Bölüm 1



(b) Bölüm 2

Şekil 7.13 568 elemanlı çelik çerçevenin kolon oryantasyonlarının optimal düzeni

7.3.3 132 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

7.3.3.1 Yapısal Sistem

Üçüncü tasarım örneği 70 bağlantı noktası ve 132 elemandan oluşan 4 katlı çaprazsız simetrik olmayan çelik uzay çerçevedir. Şekil 7.14 bu yapının 3D, rakım ve plan görünüşlerini içermektedir. İlk kat 15 ft (4.57 m) yüksekliğe sahipken üstteki üç kat 12ft (3.66 m) yüksekliğe sahiptir. Bu yüzden yapının toplam yüksekliği 51 ft (15.54 m) 'dir. X ve y yönlerindeki açıklık 24 ft (7.32 m) 'dir. Kirişler ve kolonlar birbirlerine moment dirençli bağlantılar ile birleştirilmiştir. Kolonlar temele sabitlenmiştirler.

Pratik fabrikasyon gereksinimlerini sağlamak için çerçevenin 132 elemanı 30 eleman boyut grubu (boyut tasarım değişkenleri) altında toplanmıştır; 28 kolon boyut grubu ve 2 kiriş boyut grubu. Eleman grupları Tablo 7.18 'de, eksenel isimlendirmelerin Şekil 7.15 'de olduğunu referans vererek açık bir şekilde gösterilmiştir. Eleman gruplandırmaları başlıca rakım seviyesinde uygulanmıştır. Yapının simetrik olmayan plan görünüşlerinden dolayı kolonlar plan seviyesinde gruplandırılmamıştır. Fakat tüm kirişler (iç ve dış) plan seviyesinde tek bir boyut değişkeni içinde gruplandırılmıştır. Rakım seviyesi gruplandırmasında eleman grupları her iki katta bir aynı olacak şekilde yapılmıştır.

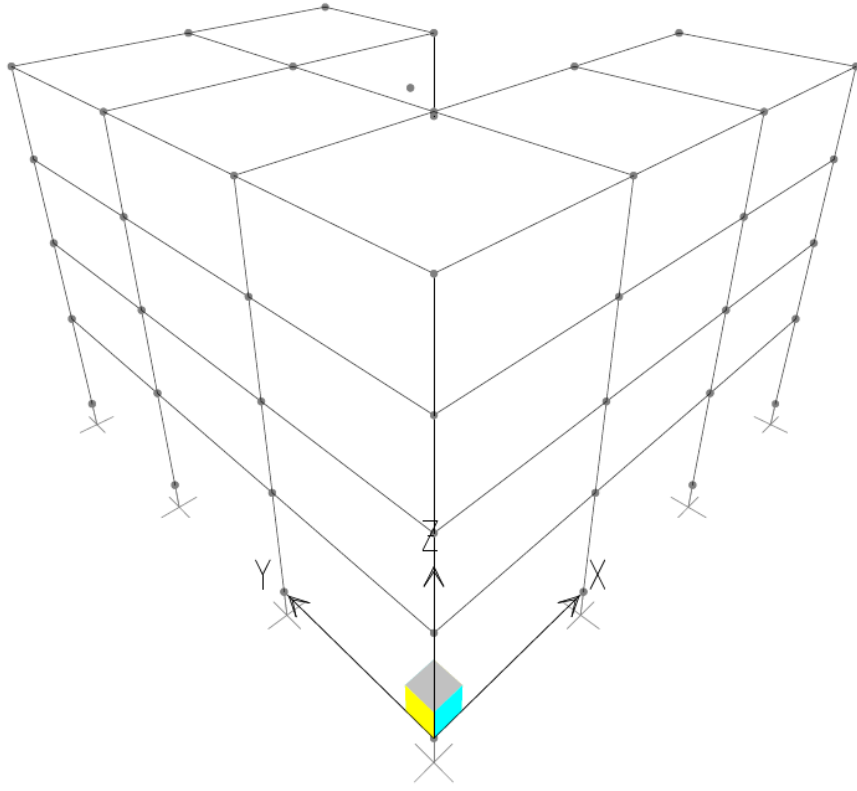
Oryantasyon değişkenleri, pratik uygulama gereksinimlerine göre çerçeve yüksekliğince peş peşe gelen tüm kolonlar (dikey çizgi üzerinde uzanan kolonlar) aynı oryantasyona sahip olmalıdır fikrine uygun olarak tanımlanmıştır. Plan görünüşünde gruplandırma yapılmadığı için her kolon eksenine Şekil 7.14(b) 'de (plan görünüşü) oryantasyon değişkenine bağlı olarak gösterilmiştir. Böylece toplamda 14 oryantasyon değişkeni tanımlanmıştır.

Çerçevenin tasarımında hem dikey hem de yatay kuvvetler dikkate alınmıştır. Yerçekimi yükleri Bölüm 5.1 'de açıklanan tasarım düşünceleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çatı ve katların dış ve iç kirişleri üzerine gelen düzgün yayılı yükler Tablo 7.19 'da verilmiştir. Yanal kuvvet olarak deprem yükleri (E), düşük yüksekliğe sahip binalar için rüzgar kuvvetlerinden daha kritik olduklarından tercih edilmişlerdir. Bölüm 5.1 'de belirtildiği gibi deprem yükleri ASCE 7-05 [ASCE, 2005]'de ki eş yanal kuvvet prosedürü kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 7.20). Her katın ağırlık merkezine bir bağlantı noktası tanımlanmıştır ve hesaplanmış olan

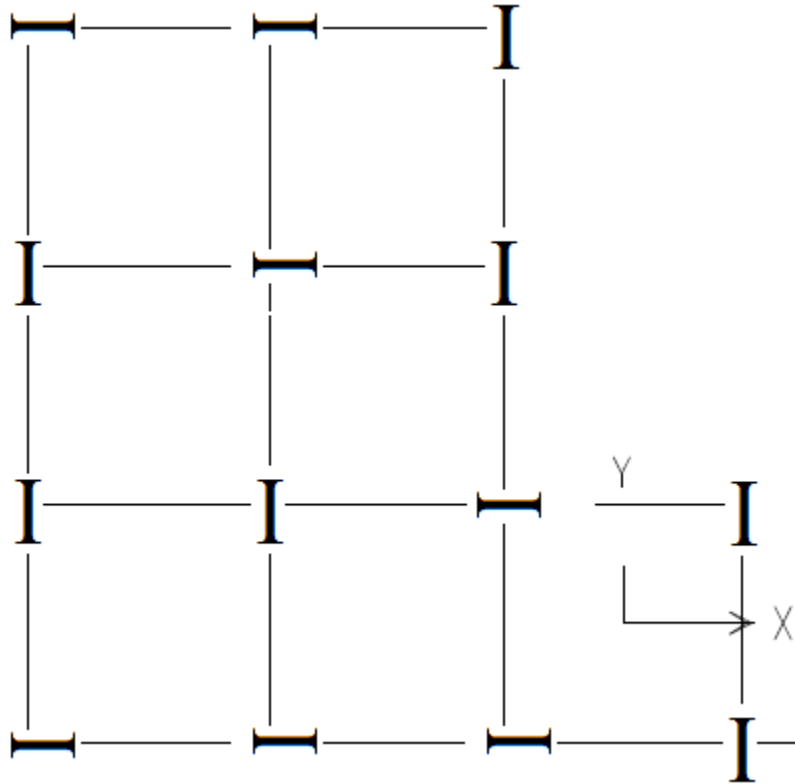
yükler bu bağlantı noktalarına tekil yük olarak uygulanmıştır. Şunu belirtmek gerekir ki, yanal yükleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtmak için kat sistemlerinin tüm bağlantı noktaları arasında diyafram sınırlayıcıları tanımlanmıştır. Çerçevede, dikey (VL) ve deprem (EL) yükleri iki yük durumu altında kombine edilmiştir: (i) 1.0VL+1.0EL (x yönünde), (ii) 1.0VL+1.0EL (y yönünde).

Kolon elemanların boyutlandırılması için 297 hazır kesit içeren geniş başlıklı (W) profil listesi ve kiriş elemanların boyutlandırması için de alan ve atalet özelliklerini temel alarak geniş başlıklı profil listesinden seçilmiş olan 171 ekonomik ayırık kesit kümesi kullanılmıştır. Gerilme, stabilite ve geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] provizyonu dikkate alınmıştır. x ve y yönündeki tüm bağlantı noktalarının deplasmanları her kat yüksekliği/400 'e eşit olacak şekilde 3.89 cm (1.53 inch) 'dir. Katlar arası sapma miktarının üst limiti olarak ilk kat kolonlarında 1.143 cm (0.45 inch) ve diğer katlardaki kolonlarda da 0.91 cm (0.36 inch) alınmıştır.

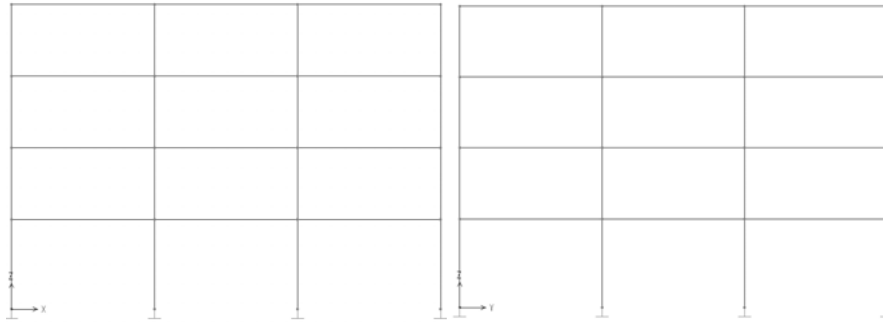
İki tasarım durumu çalışılmıştır. İlk olarak yapı, sadece kolon elemanların başlangıç oryantasyonları sabit tutulan tasarım değişkenleri dikkate alınarak minimum ağırlık için tasarlanmıştır. İkinci olarak boyut ve oryantasyon tasarım değişkenleri çerçevenin ağırlığını minimize edebilmek için birlikte uygulanmıştır.



(a) 3D görünüş

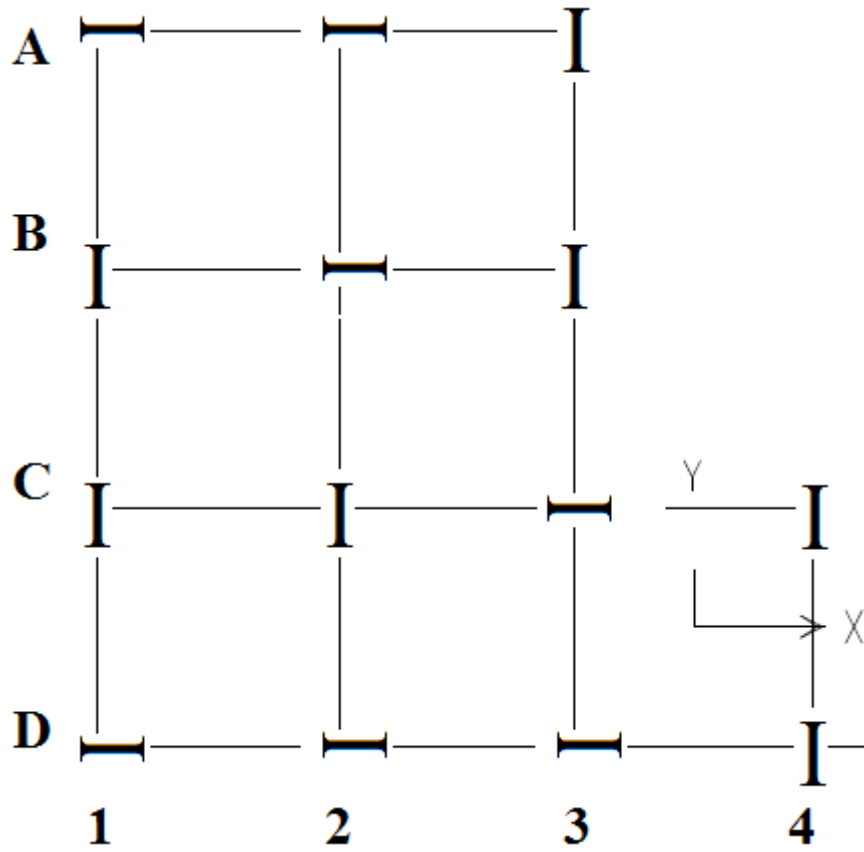


(b) Plan görünüşü



(c) Yan görünüş

Şekil 7.14 132 elemanlı çelik çerçeve



Şekil 7.15 Plan seviyesinde 132 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Tablo 7.18 132 Elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Eleman Grubu	Grup İsmi	Eleman Grubu	Grup İsmi
1	1.&2. katların A1 kolonları	16	3.&4. katların A1 kolonları
2	1.&2. katların A2 kolonları	17	3.&4. katların A2 kolonları
3	1.&2. katların A3 kolonları	18	3.&4. katların A3 kolonları
4	1.&2. katların A4 kolonları	19	3.&4. katların A4 kolonları
5	1.&2. katların B1 kolonları	20	3.&4. katların B1 kolonları
6	1.&2. katların B2 kolonları	21	3.&4. katların B2 kolonları
7	1.&2. katların B3 kolonları	22	3.&4. katların B3 kolonları
8	1.&2. katların B4 kolonları	23	3.&4. katların B4 kolonları
9	1.&2. katların C1 kolonları	24	3.&4. katların C1 kolonları
10	1.&2. katların C2 kolonları	25	3.&4. katların C2 kolonları
11	1.&2. katların C3 kolonları	26	3.&4. katların C3 kolonları
12	1.&2. katların D1 kolonları	27	3.&4. katların D1 kolonları
13	1.&2. katların D2 kolonları	28	3.&4. katların D2 kolonları
14	1.&2. katların D3 kolonları	29	3.&4. katların D3 kolonları
15	1.&2. katların iç ve dış kirişleri	30	3.&4. katların iç ve dış kirişleri

Tablo 7.19 132 elemanlı çelik çerçevenin kirişleri üzerine gelen dikey yükler

Kiriş Tipi	Düzgün yayılı yük	
	Dış Kirişler	İç Kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı Kirişleri	8.86 (607.04)	17.72 (1214.08)
Kat Kirişleri	12.86 (881.04)	25.72 (1762.08)

Tablo 7.20 132 elemanlı çelik çerçevenin katlarına uygulanan deprem yükleri

Kat	x yönündeki deprem yükü		y yönündeki deprem yükü	
	kN	lb	kN	lb
1	29.24	6570	29.74	6570
2	55.31	12430	55.31	12430
3	82.37	18510	82.37	18510
4	123.53	27760	123.53	27760

Tablo 7.21 132 elemanlı çelik çerçeve için sekiz analizde elde edilen ağırlık ve hacimler

	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam Ağırlık	126683,1	126779,2	126297,3	121995,6	122824,3	122146,2	121797,5	121562,3
Toplam Hacim	447643,4	447982,9	446280,1	43179,8	4348,1	431611,9	430380	429548,8

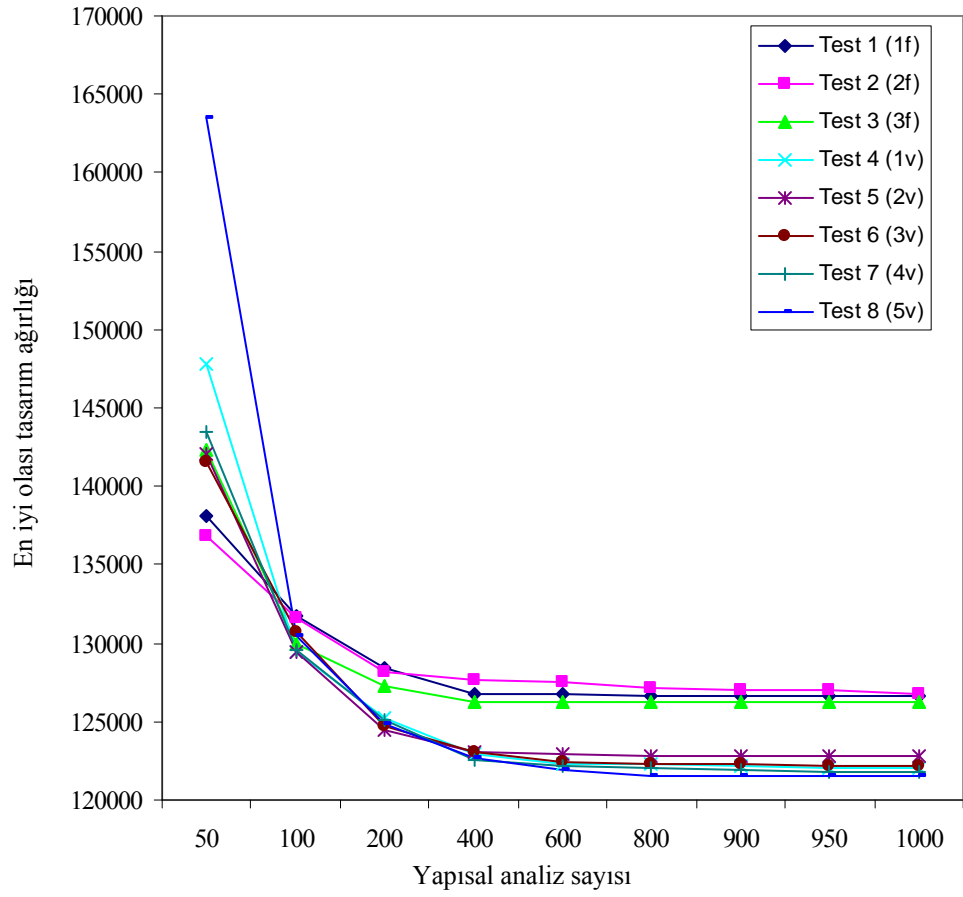
7.3.3.2 Test Sonuçları

AES tekniğinin stokastik doğası dikkate alınarak toplam sekiz bağımsız analiz işletilmiştir. İlk olarak sadece boyut değişkenleri kullanılarak çerçeve ağırlığını minimize etmek için üç bağımsız analiz işletilmiştir. Daha sonra çerçeve ağırlığını minimize etmek için boyut değişkenlerinin oryantasyon değişkenleri ile eş zamanlı olarak birlikte kullanıldığı beş analiz daha işletilmiştir.

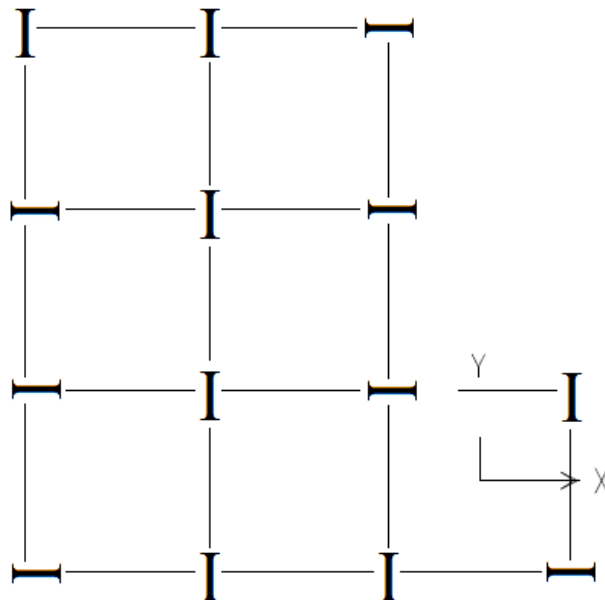
Sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.21 'de her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri Şekil 7.16 'da çizilmiştir. Tablo 7.21 veya Şekil 7.16 'da görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 126,297.27 lb (57,288.44 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 121,562.30 lb (55,140.66 kg) olarak gelişmektedir. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.22 'de karşılaştırılmıştır. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonunun optimal düzeni Şekil 7.17 'de gösterilmiştir. Kolon oryantasyonunun optimal düzeninin çerçeve ağırlığında %3.7 azalmaya yol açtığı görülmüştür.

Tablo 7.22 132 elemanlı çelik çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W8X31	58,903 (9,13)	W10X33	62,645 (9,71)
2	W12X26	49,355 (7,65)	W12X30	56,71 (8,79)
3	W18X97	183,87 (28,5)	W12X96	181,94 (28,2)
4	W16X67	127,1 (19,7)	W14X90	170,97 (26,5)
5	W14X90	170,97 (26,5)	W12X79	149,68 (23,2)
6	W18X76	143,87 (22,3)	W10X54	101,94 (15,8)
7	W12X65	123,23 (19,1)	W24X84	159,35 (24,7)
8	W12X72	136,13 (21,1)	W14X38	72,26 (11,2)
9	W14X90	170,97 (26,5)	W12X72	136,13 (21,1)
10	W16X67	127,1 (19,7)	W10X60	113,55 (17,6)
11	W21X111	210,97 (32,7)	W14X109	206,45 (32)
12	W16X77	145,81 (22,6)	W10X77	145,81 (22,6)
13	W24X104	197,42 (30,6)	W14X99	187,74 (29,1)
14	W18X86	163,23 (25,3)	W12X79	149,68 (23,2)
15	W12X53	100,64 (15,6)	W12X65	123,23 (19,1)
16	W10X39	74,19 (11,5)	W21X62	118,06 (18,3)
17	W14X90	170,97 (26,5)	W12X65	123,23 (19,1)
18	W12X58	109,68 (17)	W10X49	92,9 (14,4)
19	W21X111	210,97 (32,7)	W14X109	206,45 (32)
20	W14X61	115,48 (17,9)	W12X79	149,68 (23,2)
21	W14X61	115,48 (17,9)	W10X54	101,94 (15,8)
22	W10X49	92,9 (14,4)	W21X57	107,74 (16,7)
23	W12X53	100,64 (15,6)	W10X45	85,81 (13,3)
24	W8X35	66,45 (10,3)	W18X40	76,13 (11,8)
25	W12X87	165,16 (25,6)	W33X118	223,87 (34,7)
26	W12X65	123,23 (19,1)	W12X65	123,23 (19,1)
27	W14X61	115,48 (17,9)	W14X61	115,48 (17,9)
28	W12X45	85,16 (13,2)	W12X58	109,68 (17)
29	W21X44	83,87 (13)	W21X44	83,87 (13)
30	W18X40	76,13 (11,8)	W18X35	66,45 (10,3)
Ağırlık	57288.44kg (126297.27lb)		55140.66kg (121562.3lb)	



Şekil 7.16 132 elemanlı çelik çerçevenin tasarım geçmişi grafiği



Şekil 7.17 132 elemanlı çelik çerçevenin kolon oryantasyonlarının optimal düzeni

7.3.4 325 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

7.3.4.1 Yapısal Sistem

Şekil 7.18 'de gösterilen uzat çelik çerçeve dördüncü tasarım örneği olarak seçilmiştir. Yapı 140 bağlantı noktası ve 325 elemandan oluşur. Çerçevenin üç boyutlu görünümü Şekil 7.18 (a) 'da ve ön, yan ve plan görünüşleri de sırasıyla Şekil 7.18 (b), (c) ve (d) 'de gösterilmiştir. Çerçeve x yönü boyunca ilk ve son açıklıklarda K-tipi çapraz sistemi ile çaprazlanmıştır ve y yönü boyunca da X-tipi çapraz sistemi ile çaprazlanmıştır. İlk katın yüksekliği 16 ft (4.88 m) ve diğer dört katın yüksekliği de 12 ft (3.66 m) 'dir. Bu yüzden yapının toplam yüksekliği 64 ft (19.51 m) 'dir. y yönünde iki eşit olmayan açıklık bulunmaktadır. Bir açıklık 18 ft (5.49 m) ve diğeri de 30 ft (9.14 m) olmak üzere toplam genişlik 48 ft (14.63 m) 'dir. x yönünde her bir açıklık 15 ft (4.57 m) olmak üzere toplam uzunluk 75 ft (22.86 m) 'dir. Kolon ve kirişler moment dirençli bağlantılara sahipken çaprazlar mafsallı bağlantılara sahiptirler. Çerçevede tüm çapraz elemanların her iki ucunda da moment ve burulma ayrımları tanımlanmıştır. Kolonların temele birleşimi için rijit mesnetler kullanılmıştır.

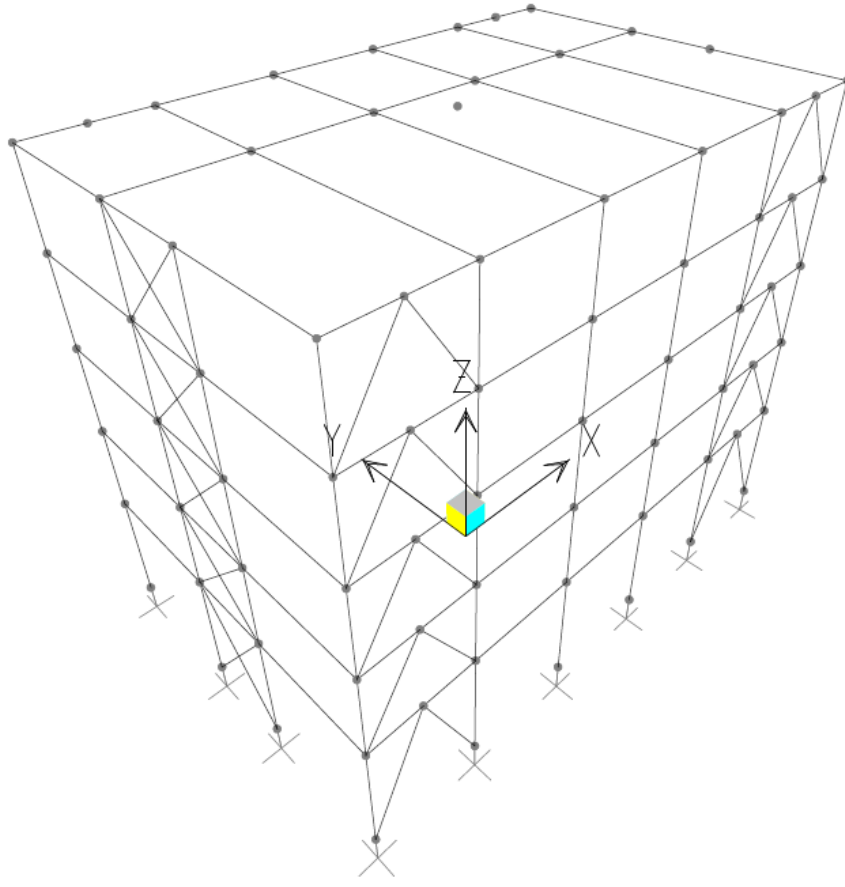
Pratik fabrikasyon gereksinimlerini sağlamak için çerçevenin 325 elemanı 24 eleman boyut grubu (boyut tasarım değişkenleri) altında toplanmıştır; 15 kolon boyut grubu, 6 kiriş boyut grubu ve 3 çapraz boyut grubu. Eleman grupları Tablo 7.18 'de, eksenel isimlendirmelerin Şekil 7.23 'de olduğunu referans vererek açık bir şekilde gösterilmiştir. Eleman gruplandırmaları hem plan hem de rakım seviyelerinde uygulanmıştır. Plan seviyesinde kolon gruplandırması Şekil 7.19 'da gösterilmiştir. Diğer taraftan kirişler plan seviyesinde iç ve dış kirişler olarak iki grup altında toplanmıştır. Rakım seviyesi gruplandırması ilk kat hariç tüm katlara uygulanmıştır ve eleman grupları her iki katta bir aynıdır.

Oryantasyon değişkenleri, pratik uygulama gereksinimlerine göre çerçeve yüksekliğince peş peşe gelen tüm kolonlar (dikey çizgi üzerinde uzanan kolonlar) aynı oryantasyona sahip olmalıdır fikrine uygun olarak tanımlanmıştır. Bu yüzden Şekil 7.19 'da gösterilen her kolon grubu toplamda beş oryantasyon değişkeni oluşturacak şekilde bir oryantasyon değişkeni ile ilişkilendirilmiştir.

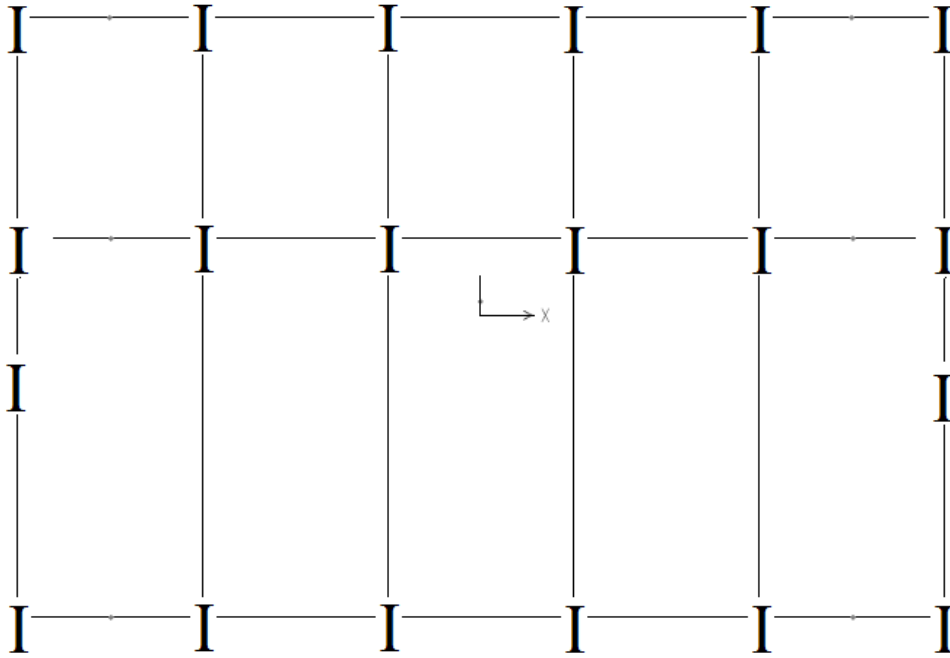
Çerçevenin tasarımında hem dikey hem de yatay kuvvetler dikkate alınmıştır. Yerçekimi yükleri Bölüm 5.1 'de açıklanan tasarım uygulamaları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çatı ve katların dış ve iç kirişleri üzerine gelen düzgün yayılı yükler Tablo 7.24 'de verilmiştir. Yanal kuvvet olarak deprem yükleri (E), düşük yüksekliğe sahip binalar için rüzgar kuvvetlerinden daha kritik olduklarından tercih edilmişlerdir. Bölüm 5.1 'de belirtildiği gibi deprem yükleri ASCE 7-05 [ASCE, 2005]'de ki eş yanal kuvvet prosedürü kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 7.20). Her katın ağırlık merkezine bir bağlantı noktası tanımlanmıştır ve hesaplanmış olan yükler bu bağlantı noktalarına tekil yük olarak şu değerlerle uygulanmıştır; 1. katta 4.72 kips (20.99 kN), 2. katta 8.96 kips (39.87 kN), 3. katta 13.49 kips (59.99 kN), 4. katta 18.22 kips (81.04 kN) ve 5. katta 23.11 kips (102.81 kN). Şunu belirtmek gerekir ki, yanal yükleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtmak için kat sistemlerinin tüm bağlantı noktaları arasında diyafram sınırlayıcıları tanımlanmıştır. Çerçevede, dikey (VL) ve deprem (EL) yükleri iki yük durumu altında kombine edilmiştir: (i) $1.0VL+1.0EL$ (x yönünde), (ii) $1.0VL+1.0EL$ (y yönünde).

Kolon elemanların boyutlandırılması için 297 hazır kesit içeren geniş başlıklı (W) profil listesi ve kiriş elemanların boyutlandırması için de alan ve atalet özelliklerini temel alarak geniş başlıklı profil listesinden seçilmiş olan 171 ekonomik ayırık kesit kümesi kullanılmıştır. Gerilme, stabilite ve geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] provizyonu dikkate alınmıştır. x ve y yönündeki tüm bağlantı noktalarının deplasmanları her kat yüksekliği/400 'e eşit olacak şekilde 4.87 cm (1.92 inch) 'dir. Katlar arası sapma miktarının üst limiti olarak ilk kat kolonlarında 1.22 cm (0.48 inch) ve diğer katlardaki kolonlarda da 0.91 cm (0.36 inch) alınmıştır.

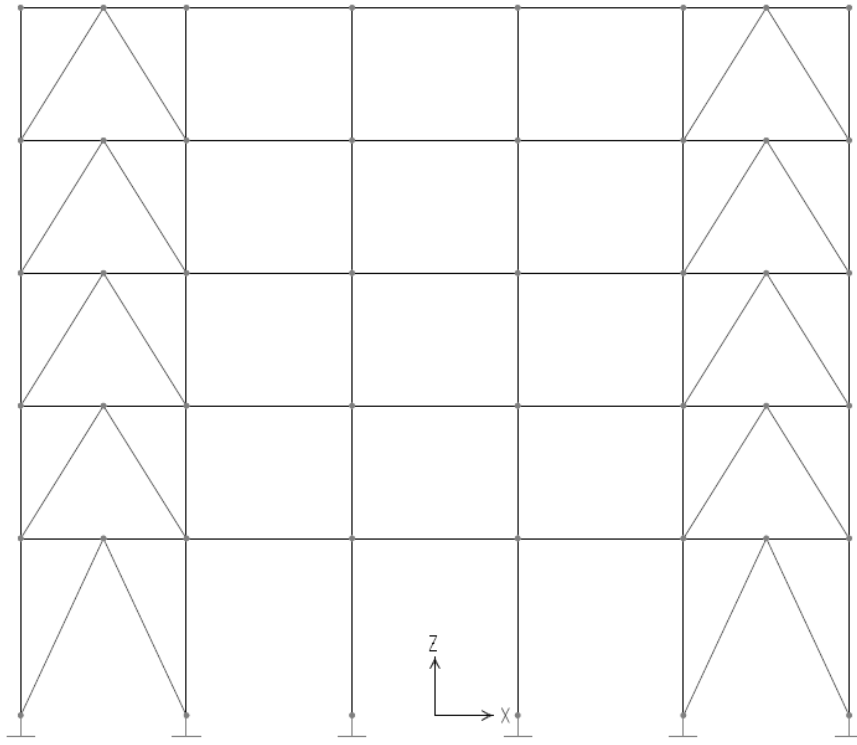
İki tasarım durumu çalışılmıştır. İlk olarak yapı, sadece kolon elemanların başlangıç oryantasyonları sabit tutulan tasarım değişkenleri dikkate alınarak minimum ağırlık için tasarlanmıştır. İkinci olarak boyut ve oryantasyon tasarım değişkenleri çerçevenin ağırlığını minimize edebilmek için birlikte uygulanmıştır.



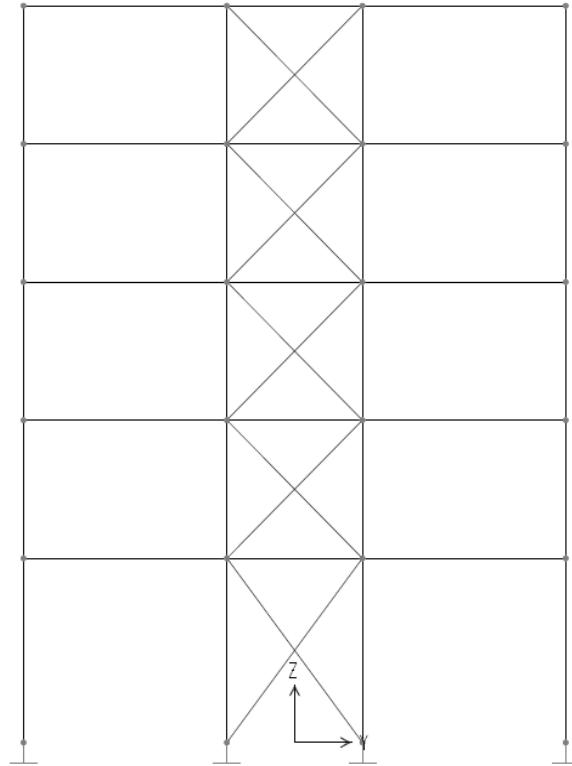
(a) 3D görünüş



(b) Plan görünüşü

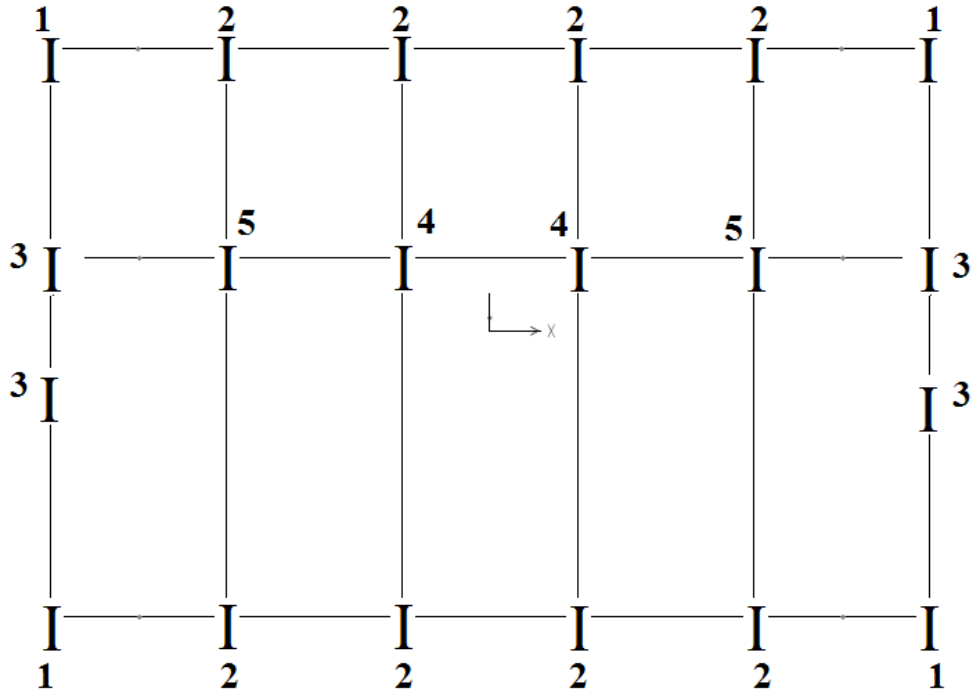


(c) Yan görünüş



(d) Yan görünüş

Şekil 7.18 325 elemanlı çelik çerçeve



Şekil 7.19 Plan seviyesinde 325 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Tablo 7.23 325 elemanlı çelik çerçevenin eleman gruplandırması

Eleman Grubu	Grup İsmi	Eleman Grubu	Grup İsmi
1	1. kat köşe kolonları	12	4.&5. kat x-z iç kolonları
2	2.&3. kat köşe kolonları	13	1.kat dış kirişleri
3	4.&5. kat köşe kolonları	14	2.&3. kat dış kirişleri
4	1.kat x-z dış kolonları	15	4.&5. kat dış kirişleri
5	2.&3. kat x-z dış kolonları	16	1.kat iç kirişleri
6	4.&5. kat x-z dış kolonları	17	2.&3. kat iç kirişleri
7	1.kat y-z dış kolonları	18	4.&5. kat iç kirişleri
8	2.&3. kat y-z dış kolonları	19	1.kat çaprazları
9	4.&5. kat y-z dış kolonları	20	2.&3. kat çaprazları
10	1.kat x-z iç kolonları	21	4.&5. kat çaprazları
11	2.&3. kat x-z iç kolonları		

Tablo 7.24 325 elemanlı çelik çerçevenin kirişleri üzerine gelen dikey yükler

Kiriş Tipi	Düzgün yayılı yük	
	Dış Kirişler	İç Kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı Kirişleri	5.54 (379.4)	11.08 (758.8)
Kat Kirişleri	8.04 (550.65)	16,08 (1101.3)

(a) 20 ft açıklık

Kiriş Tipi	Düzgün yayılı yük	
	Dış Kirişler	Dış Kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı Kirişleri	6.38 (437.36)	12.77 (874.72)
Kat Kirişleri	9.31 (634.77)	18.53 (1269.54)

(b) 18 ft açıklık

Kiriş Tipi	Düzgün yayılı yük	
	Dış Kirişler	Dış Kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı Kirişleri	7.62 (521.67)	15.23 (1043.34)
Kat Kirişleri	11.05 (757.14)	22.11 (1514.28)

(c) 30ft açıklık

Tablo 7.25 325 elemanlı çelik çerçevenin katlarına uygulanan deprem yükleri

Kat	x yönündeki deprem yükü		y yönündeki deprem yükü	
	kN	lb	kN	lb
1	21	4719.4	21	4719.4
2	39.88	8962.1	39.88	8962.1
3	60.02	13487.4	60.02	13487.4
4	81.07	18218.3	81.07	18218.3
5	102.85	23112.7	102.85	23112.7

7.3.4.2 Test Sonuçları

AES tekniğinin stokastik doğası dikkate alınarak toplam sekiz bağımsız analiz işletilmiştir. İlk olarak sadece boyut değişkenleri kullanılarak çerçeve ağırlığını minimize etmek için üç bağımsız analiz işletilmiştir. Daha sonra çerçeve ağırlığını minimize etmek için boyut değişkenlerinin oryantasyon değişkenleri ile eş zamanlı olarak birlikte kullanıldığı beş analiz daha işletilmiştir.

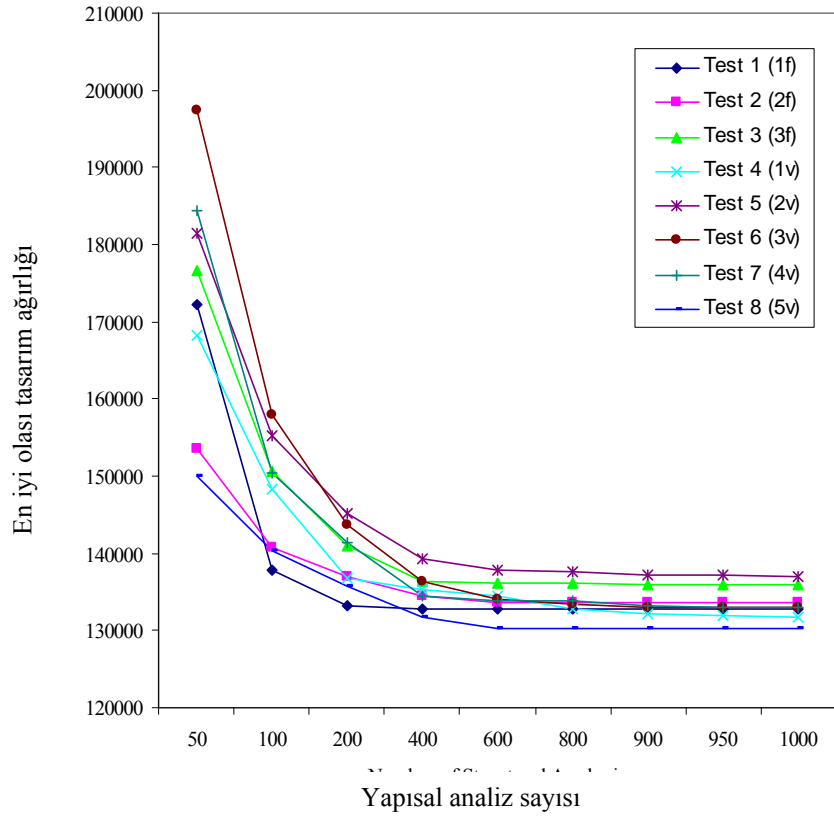
Sekiz analizden elde edilen sonuçlar Tablo 7.26 'da her analizde ulaşılan çerçevenin minimum ağırlık ve hacmi için verilmiştir. Bu analizlerde elde edilen tasarım geçmişi eğrileri Şekil 7.20 'de çizilmiştir. Tablo 7.26 veya Şekil 7.20 'de görüldüğü üzere çerçeve kolon oryantasyonlarının başlangıç seçimleri altında minimum ağırlık için boyutlandırıldığı zaman elde edilen en iyi tasarım ağırlığı 131,704.90 lb (59,741.34 kg) 'dır. Optimizasyon işleminde kolon oryantasyonlarının değişmesine izin verildiği zaman çerçevenin en iyi tasarım ağırlığı 130,274.80 lb (59,092.65 kg) olarak gelişmektedir. İkinci durumda elde edilen kolon oryantasyonlarının optimal düzeni (Şekil 7.21) başlangıç kolon konfigürasyonu ile tamamen aynıdır. Her iki tasarım durumunda da ulaşılan kesit atamaları Tablo 7.27 'de verilmiştir.

Tablo 7.26 325 elemanlı çelik çerçeve için sekiz analizde elde edilen ağırlık ve hacimler

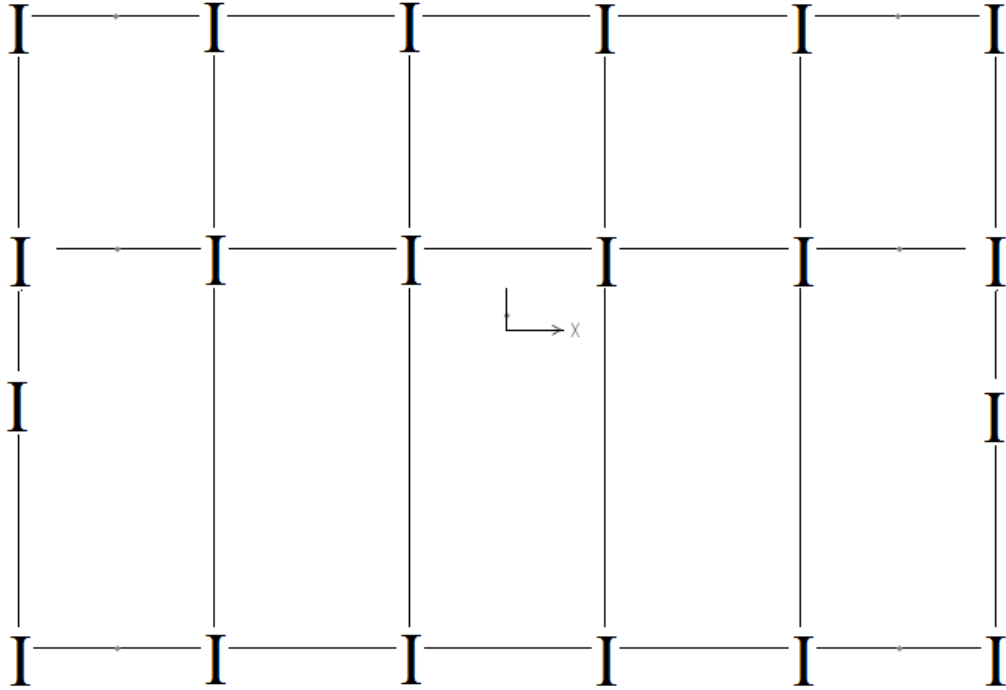
	Sabit oryantasyonlu kolonlar			Değişken oryantasyonlu kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam Ağırlık	132867,2	133600,5	135876	131704,9	137042	132955,6	132936,2	130274,8
Toplam Hacim	469495,4	472086,5	480127,2	465388,4	484247,3	469807,9	469739,1	460335

Tablo 7.27 325 elemanlı çelik çerçeve için elde edilen en iyi tasarımların karşılaştırılması

Grup Numarası	Başlangıç kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım		Değişken kolon oryantasyonu ile en iyi tasarım	
	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)	Hazır Kesit	Alan (cm ²), (in ²)
1	W14X30	57,097 (8,85)	W8X24	45,677 (7,08)
2	W6X15	28,581 (4,43)	W8X18	33,935 (5,26)
3	W6X12	22,903 (3,55)	W8X13	24,774 (3,84)
4	W14X43	81,29 (12,6)	W12X40	76,13 (11,8)
5	W21X44	83,87 (13)	W18X46	87,1 (13,5)
6	W14X34	64,52 (10)	W14X34	64,52 (10)
7	W16X36	68,39 (10,6)	W18X50	94,84 (14,7)
8	W6X25	47,355 (7,34)	W8X18	33,935 (5,26)
9	W6X20	37,871 (5,87)	W8X13	24,774 (3,84)
10	W24X84	159,35 (24,7)	W21X62	118,06 (18,3)
11	W12X50	94,84 (14,7)	W12X50	94,84 (14,7)
12	W8X35	66,45 (10,3)	W14X34	64,52 (10)
13	W21X62	118,06 (18,3)	W12X53	100,64 (15,6)
14	W12X50	94,84 (14,7)	W14X53	100,64 (15,6)
15	W8X35	66,45 (10,3)	W14X34	64,52 (10)
16	W12X14	26,839 (4,16)	W12X14	26,839 (4,16)
17	W12X14	26,839 (4,16)	W12X14	26,839 (4,16)
18	W12X14	26,839 (4,16)	W12X14	26,839 (4,16)
19	W21X44	83,87 (13)	W21X44	83,87 (13)
20	W18X40	76,13 (11,8)	W18X40	76,13 (11,8)
21	W18X40	76,13 (11,8)	W18X40	76,13 (11,8)
22	W6X20	37,871 (5,87)	W6X20	37,871 (5,87)
23	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
24	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
Ağırlık	59741.34kg (131704.9lb)		59092.65kg (130274.8lb)	



Şekil 7.20 325 elemanlı çelik çerçevenin tasarım geçmişi grafiği



Şekil 7.21 325 elemanlı çelik çerçeve için kolon oryantasyonlarının optimal düzeni

7.3.5 1230 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

7.3.5.1 Yapısal Sistem

Beşinci tasarım örneği 445 birleşim noktası ve 1230 elemandan oluşan 10 katlı çelik çerçevedir. Şekil 7.22 de 3-boyutlu, yan ve ön görünüşler verilmektedir. Sistemin yatay stabilitesi çaprazlar ihtiva eden iç ve dış çerçevelerle sağlanmıştır. Şekil 7.23 'de görülen kalın çizgiler birbirlerine rijit olarak bağlanmış kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemini göstermektedir. Ayrıca bu şekildeki kesikli çizgilerle çevrelenmiş alan, sistemin çaprazlama sistemini gösterir. Buradaki kesikli çizgiler çapraz elemanlarını temsil eder.

Çaprazlı çekirdek sadece pim bağlantılar içerir ve x-yönünde K-tipi ve y yönünde X-tipi çaprazlar ihtiva eder. Bu çapraz çekirdeği çerçeveye pimli hatıllarla bağlanmıştır. Kat yüksekliği 12 ft ve açıklıklar her iki yönde 15 ft uzunluğunda kabul edilmiştir. Bütün kolonların temele rijit bağlı olduğu varsayılmıştır. Fabrikasyon gereklerini karşılamak amacıyla çerçevenin 568 elemanı; 35 kolon boyutlandırma grubu, 10 kiriş boyutlandırma grubu ve 5 çapraz boyutlandırma grubuna ayrılmıştır. Tablo 7.28 'de eleman grupları listelenmiştir. Eleman gruplandırması plan ve yan görünüş olarak iki düzeyde uygulanmıştır. Kolonların plan yönlü gruplandırması şekil 7.25 'de gösterilmiştir. Bununla birlikte plan gruplandırması olarak kirişler iç ve dış kiriş şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Yan görünüş açısından gruplandırmada ise eleman grupları her iki katta bir aynı kesitler olacak şekilde düşünülmüştür.

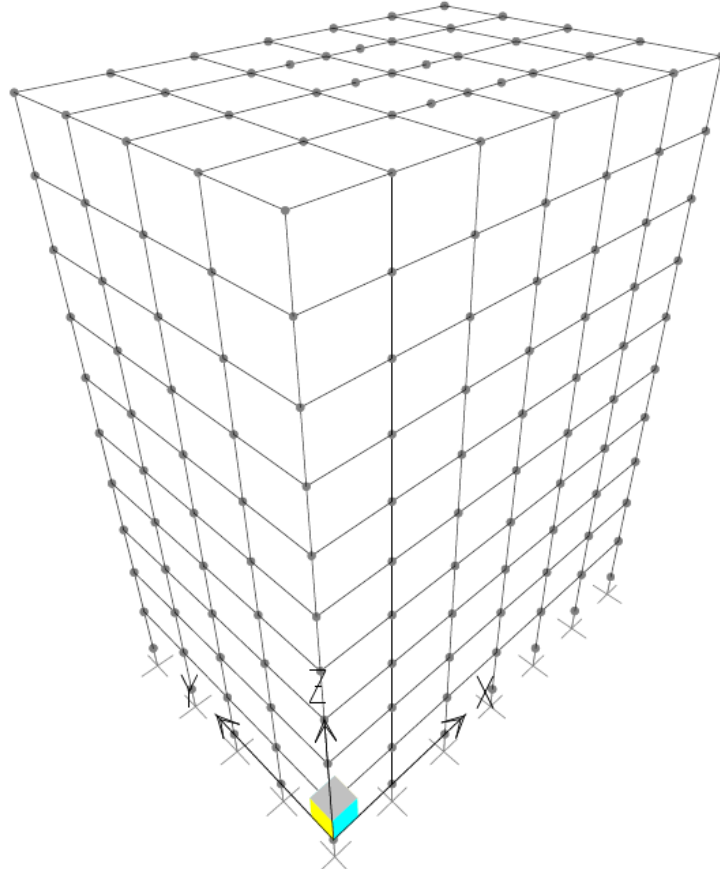
Oryantasyon değişkenleri çerçeve yüksekliği boyunca birbirini takip eden bütün kolonların aynı oryantasyona sahip olmaları şartı dikkate alınarak gruplandırılmıştır. Dolayısıyla, Şekil 7.24 'de de gösterilmiş olan kolon grupları aynı zamanda birer oryantasyon grubuna sahiptir. Bu şekilde yapılan gruplandırma ile sistem 7 adet kolon oryantasyon grubuna ayrılmıştır.

Çerçeve yerçekimi ve rüzgâr yüklerinin oluşturduğu iki yükleme koşuluna maruz bırakılmıştır. Yükleme durumları ve kombinasyonları ASCE 7-05 [ASCE, 2005]'e göre

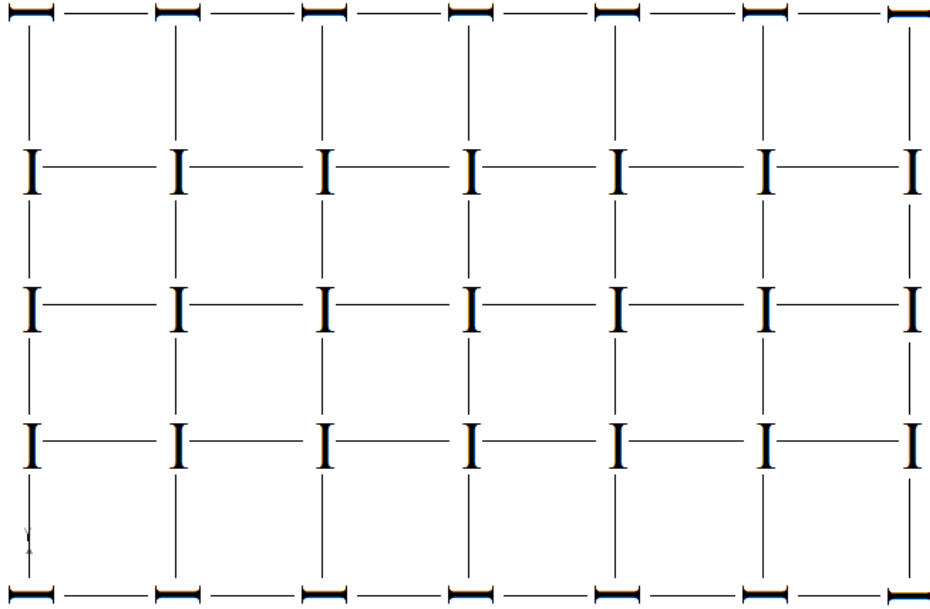
belirlenmiştir. Bunların detaylı açıklaması Bölüm 5.1 'de yapılmıştır. Çatı katındaki ve normal katlardaki kirişler için düşey yönlü yükleme değerleri Tablo 7.29 da, rüzgârı karşılayan yöndeki ve rüzgarın çıkış yönündeki rüzgar yükünün, temel rüzgar hızının (105mph (46.94m/s)) dikkate alınmasıyla hesaplanan değerleri ise Tablo 7.30 da verilmiştir.

297 kesitten oluşan geniş başlıklı (W) profil listesi kolonların boyutlandırılması için dikkate alınırken, kirişler ve diyagoneller için ise listede bulunan, alan ve atalet özelliklerinin kullanıldığı 171 kesit ve alanları ile dönme yarıçaplarının hesaba katıldığı 147 kesit kullanılmıştır. Gerilme ve stabilite sınırlayıcıları ile geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamesinden faydalanılmıştır. X ve y doğrultularındaki deplasman değerleri 9.15cm (3.6in) ile ve katlar arası ötelenme değerleri ise 0.91cm (0.36in) ile sınırlandırılmıştır.

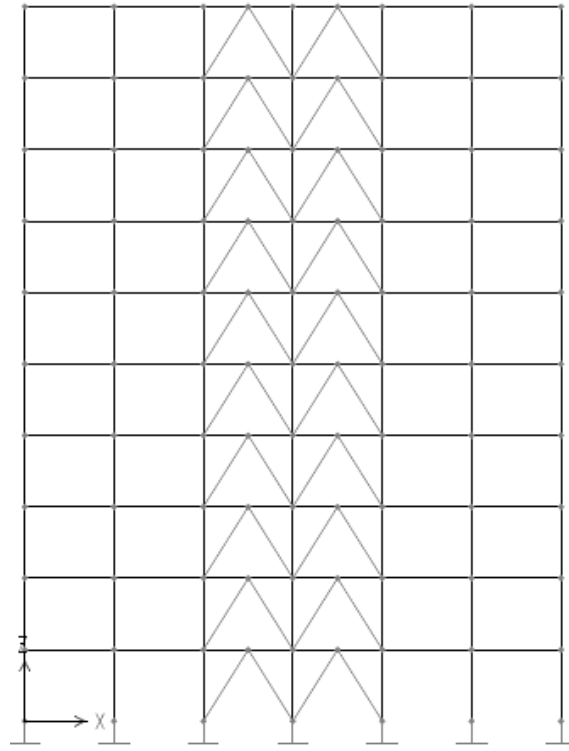
Bu örnekte iki tasarım durumu incelenmiştir. Öncelikle, sadece boyutlandırma değişkenlerinin dikkate alınmasıyla ve oryantasyon değişkenlerinin sabit tutulmasıyla minimum ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, boyutlandırma ve oryantasyon değişkenleri çerçevelerin ağırlığını minimize etmek amacıyla birlikte kullanılmıştır.



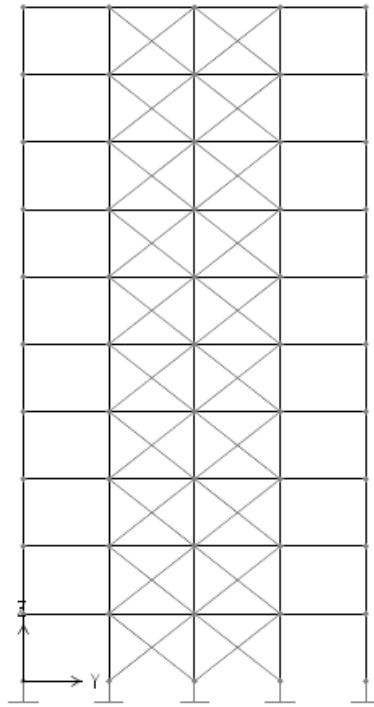
(a) 3 boyutlu görünüş



(b) Plan görünüşü

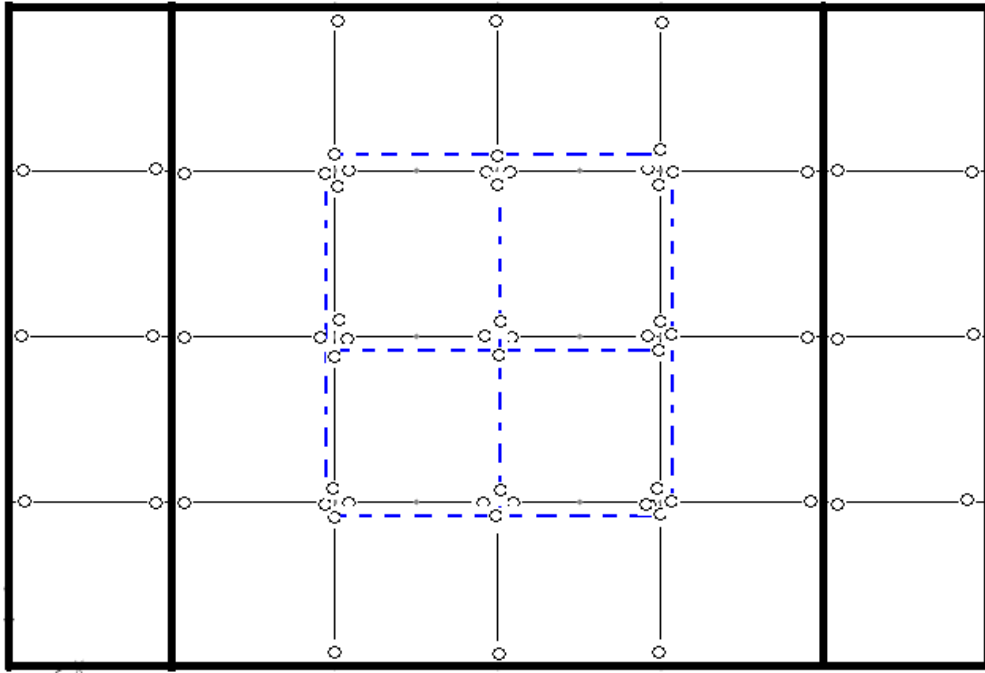


(c) Yan görünüş

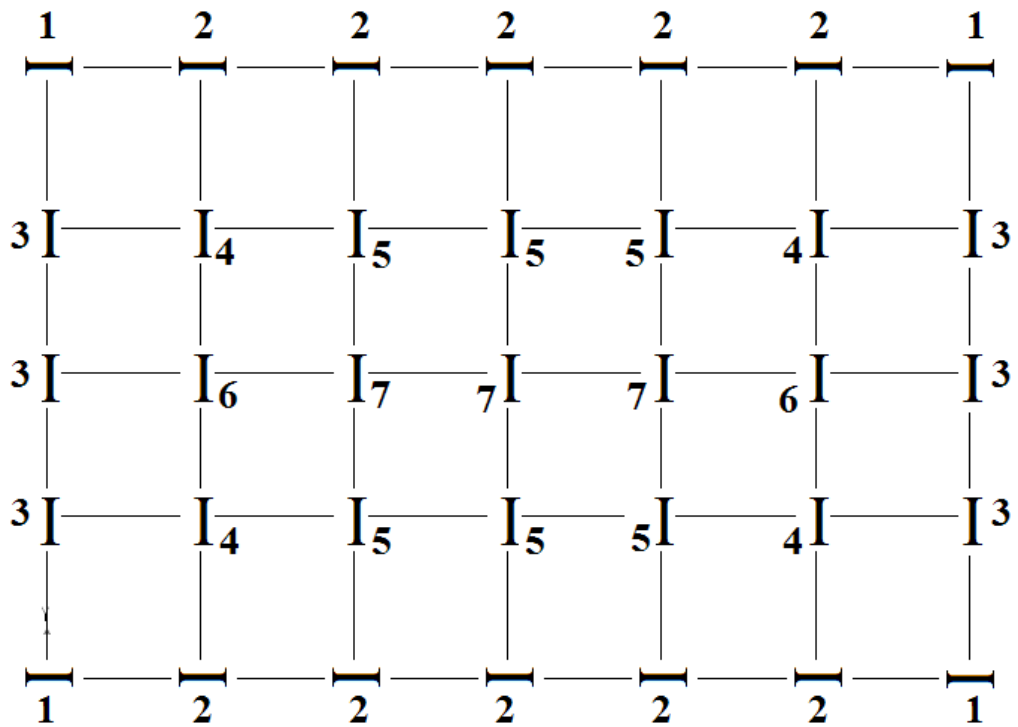


(d) Yan görünüş

Şekil 7.22 1230-elemanlı çelik çerçeve



Şekil 7.23 1230 elemanlı çerçevenin düşey çaprazları ve moment serbestleyicileri



Şekil 7.24 1230-elemanlı çelik çerçevenin plan görünüşünden gruplandırılması

Tablo 7.28 1230-elemanlı çerçevenin gruplandırılması

Eleman grubu	Grup numarası	Eleman grubu	Grup numarası
1	Bir ve ikinci katların köşe kolonları	26	İç yapının Y-Z düzlemi için bir ve ikinci katların dış kolonları
2	Üç ve dördüncü katların köşe kolonları	27	İç yapının Y-Z düzlemi için Üç ve dördüncü katların dış kolonları
3	Beş ve altıncı katların köşe kolonları	28	İç yapının Y-Z düzlemi için Beş ve altıncı katların dış kolonları
4	Yedi ve sekizinci katların köşe kolonları	29	İç yapının Y-Z düzlemi için yedi ve sekizinci katların dış kolonları
5	Dokuz ve onuncu katların köşe kolonları	30	İç yapının Y-Z düzlemi için dokuz ve onuncu katların dış kolonları
6	Bir ve ikinci katların X-Z düzlemi için dış kolonları	31	Bir ve ikinci katların iç kolonları
7	Üç ve dördüncü katların X-Z düzlemi için dış kolonları	32	Üç ve dördüncü katların iç kolonları
8	Beş ve altıncı katların X-Z düzlemi için dış kolonları	33	Beş ve altıncı katların iç kolonları
9	Yedi ve sekizinci katların X-Z düzlemi için dış kolonları	34	Yedi ve sekizinci katların iç kolonları
10	Dokuz ve onuncu katların X-Z düzlemi için dış kolonları	35	Dokuz ve onuncu katların iç kolonları
11	Bir ve ikinci katların Y-Z düzlemi için dış kolonları	36	Bir ve ikinci katların dış kirişleri
12	Üç ve dördüncü katların Y-Z düzlemi için dış kolonları	37	Üç ve dördüncü katların dış kirişleri
13	Beş ve altıncı katların Y-Z düzlemi için dış kolonları	38	Beş ve altıncı katların dış kirişleri
14	Yedi ve sekizinci katların Y-Z düzlemi için dış kolonları	39	Yedi ve sekizinci katların dış kirişleri
15	Dokuz ve onuncu katların Y-Z düzlemi için dış kolonları	40	Dokuz ve onuncu katların dış kirişleri
16	Bir ve ikinci katların iç köşe kolonları	41	Bir ve ikinci katların iç kirişleri
17	Üç ve dördüncü katların iç köşe kolonları	42	Üç ve dördüncü katların iç kirişleri
18	Beş ve altıncı katların iç köşe kolonları	43	Beş ve altıncı katların iç kirişleri
19	Yedi ve sekizinci katların iç köşe kolonları	44	Yedi ve sekizinci katların iç kirişleri
20	Dokuz ve onuncu katların iç köşe kolonları	45	Dokuz ve onuncu katların iç kirişleri
21	İç yapının X-Z düzlemi için bir ve ikinci katların dış kolonları	46	Bir ve ikinci katların çaprazları
22	İç yapının X-Z düzlemi için üç ve dördüncü katların dış kolonları	47	Üç ve dördüncü katların çaprazları
23	İç yapının X-Z düzlemi için beş ve altıncı katların dış kolonları	48	Beş ve altıncı katların çaprazları
24	İç yapının X-Z düzlemi için yedi ve sekizinci katların dış kolonları	49	Yedi ve sekizinci katların çaprazları
25	İç yapının X-Z düzlemi için dokuz ve onuncu katların dış kolonları	50	Dokuz ve onuncu katların çaprazları

Tablo 7.29 1230 elemanlı çelik çerçevenin kirişleri üzerindeki düşey yükleme

Kiriş türü	Düzgün yayılı yük	
	Dış kirişler	İç kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı kirişleri	5.54 (379.4)	11.08 (758.8)
Normal kat kirişleri	8.04 (550.65)	16,08 (1101.3)

(a)15ft açıklık

Tablo 7.30 105mph (kN/m, lb/ft) rüzgar hızı altındaki rüzgar yükü değerleri

Kat	z (ft)	Rüzgar Tarafı kN/m (lb/ft)	Rüzgar Çıkış Tarafı kN/m (lb/ft)
1	12	1,64 (112,5)	1,86 (127,4)
2	24	1,88 (128,7)	1,86 (127,4)
3	36	2,11 (144,5)	1,86 (127,4)
4	48	2,29 (156,9)	1,86 (127,4)
5	60	2,44 (167,2)	1,86 (127,4)
6	72	2,57 (176,1)	1,86 (127,4)
7	84	2,69 (184,1)	1,86 (127,4)
8	96	2,79 (191,2)	1,86 (127,4)
9	108	2,89 (197,8)	1,86 (127,4)
10	120	1,49 (101,9)	0,93 (63,69)

7.3.5.2 Test Sonuçları

AES metodunun doğası dikkate alınarak toplam sekiz adet analiz yapıldı. Öncelikle, üç bağımsız analiz sadece boyutlandırma değişkenleri kullanılarak gerçekleştirildi. Daha sonra boyut değişkenleriyle birlikte oryantasyon değişkenlerinin de hesaba katıldığı beş adet çalışma daha yapıldı.

Her bir analiz sonucunda elde edilen ağırlık ve hacim değerleri Tablo 7.31 'de verilmiştir. Şekil 7.25 'de de bu analizlere ait tasarım-zaman eğrileri görülebilir. Tablo 7.26 ve Şekil 7.26 'dan da anlaşılabileceği gibi en iyi tasarım ağırlığı kolon oryantasyonlarının başlangıçta belirlendiği durum için 470,970.18 lb (213,632.07 kg) olarak elde edilmiştir. Oryantasyonların optimizasyon süresince değişimine izin verildiği durumda ise bu ağırlık 442,626.99 lb (200,775.6 kg) 'a düşürülmüştür.. Tablo 7.32 'de her iki durum için elde edilen tasarımlara ait kesit atamaları verilmiştir. İkinci durum için elde edilen optimum kolon oryantasyonu Şekil 7.26 'da gösterilmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki optimum kolon oryantasyonları çerçeve ağırlığında % 6.0 gibi bir azalma meydana getirmiştir.

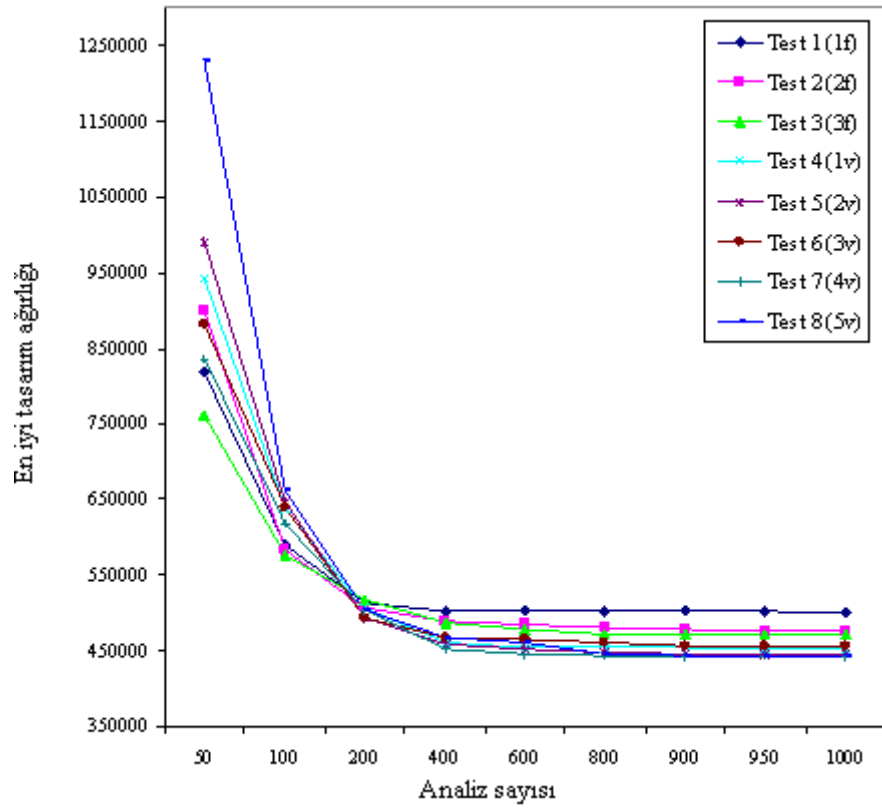
Tablo 7.31 Sekiz deneme sonunda 1230-elemanlı çerçeve için bulunan minimum ağırlık ve hacimler

	Sabit oryantasyonda kolonlar			Değişen oryantasyonda kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam ağırlık	501139,5	475927,0	470970,2	452929,9	446046,8	456639,8	442627,0	443261,7
Toplam hacim	1770810,9	1681720,8	1664205,6	1600459,1	1576137	1613568,1	1564053	1566295,6

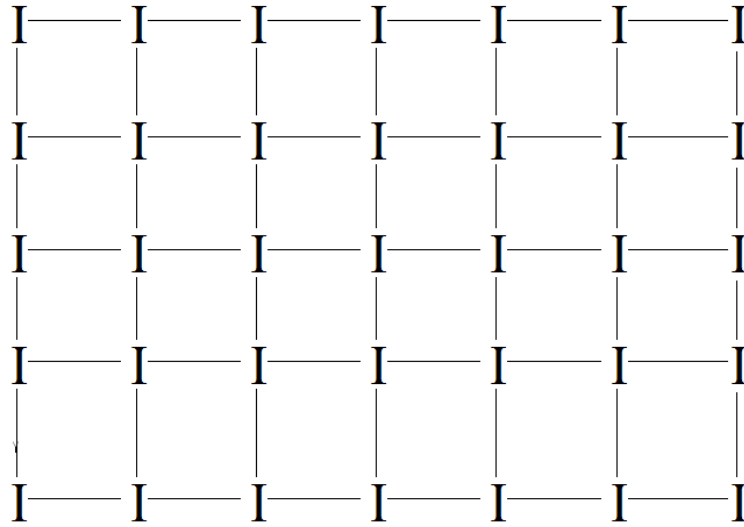
Tablo 7.32 1230-elemanlı çerçeve için optimum tasarımların kıyaslaması

Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
1	W12X30	56,71 (8,79)	W14X30	57,097 (8,85)
2	W10X39	74,19 (11,5)	W8X35	66,45 (10,3)
3	W10X33	62,645 (9,71)	W6X25	47,355 (7,34)
4	W8X28	53,226 (8,25)	W10X22	41,871 (6,49)
5	W12X26	49,355 (7,65)	W8X24	45,677 (7,08)
6	W8X48	90,97 (14,1)	W16X50	94,84 (14,7)
7	W10X49	92,9 (14,4)	W16X36	68,39 (10,6)
8	W10X39	74,19 (11,5)	W8X28	53,226 (8,25)
9	W10X26	49,097 (7,61)	W6X25	47,355 (7,34)
10	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
11	W16X45	85,81 (13,3)	W16X45	85,81 (13,3)
12	W16X40	76,13 (11,8)	W10X33	62,645 (9,71)
13	W14X30	57,097 (8,85)	W18X35	66,45 (10,3)
14	W10X22	41,871 (6,49)	W10X22	41,871 (6,49)
15	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
16	W36X160	303,23 (47)	W30X90	170,32 (26,4)
17	W24X84	159,35 (24,7)	W18X65	123,23 (19,1)
18	W24X62	117,42 (18,2)	W21X57	107,74 (16,7)
19	W10X33	62,645 (9,71)	W10X33	62,645 (9,71)
20	W8X24	45,677 (7,08)	W12X30	56,71 (8,79)
21	W33X118	223,87 (34,7)	W18X76	143,87 (22,3)
22	W12X72	136,13 (21,1)	W10X54	101,94 (15,8)
23	W8X48	90,97 (14,1)	W8X40	75,48 (11,7)
24	W12X26	49,355 (7,65)	W8X28	53,226 (8,25)
25	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
26	W24X84	159,35 (24,7)	W18X76	143,87 (22,3)
27	W24X68	129,68 (20,1)	W12X72	136,13 (21,1)
28	W18X50	94,84 (14,7)	W16X57	108,39 (16,8)
29	W18X40	76,13 (11,8)	W12X35	66,45 (10,3)
30	W8X24	45,677 (7,08)	W8X28	53,226 (8,25)
31	W36X160	303,23 (47)	W36X160	303,23 (47)

Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
32	W21X83	156,77 (24,3)	W12X72	136,13 (21,1)
33	W16X57	108,39 (16,8)	W8X67	127,1 (19,7)
34	W16X36	68,39 (10,6)	W10X33	62,645 (9,71)
35	W8X24	45,677 (7,08)	W8X28	53,226 (8,25)
36	W16X26	49,548 (7,68)	W14X22	41,871 (6,49)
37	W8X18	33,935 (5,26)	W10X22	41,871 (6,49)
38	W8X18	33,935 (5,26)	W8X18	33,935 (5,26)
39	W8X18	33,935 (5,26)	W8X18	33,935 (5,26)
40	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
41	W12X26	49,355 (7,65)	W12X26	49,355 (7,65)
42	W16X31	58,839 (9,12)	W12X26	49,355 (7,65)
43	W14X30	57,097 (8,85)	W12X26	49,355 (7,65)
44	W16X26	49,548 (7,68)	W10X26	49,097 (7,61)
45	W8X24	45,677 (7,08)	W8X24	45,677 (7,08)
46	W6X15	28,581 (4,43)	W6X20	37,871 (5,87)
47	W6X15	28,581 (4,43)	W6X20	37,871 (5,87)
48	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
49	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
50	W6X15	28,581 (4,43)	W6X15	28,581 (4,43)
Ağırlık	213632.07kg (470970.18lb)		200775.6kg (442626.99lb)	



Şekil 7.25 1230 elemanlı çerçeve için minimum ağırlık-zaman grafiği



Şekil 7.26 1230-elemanlı çerçeve için optimum kolon oryantasyonu

7.3.6 3590 ELEMANLI ÇELİK ÇERÇEVE

7.3.6.1 Yapısal Sistem

Altıncı ve son tasarım örneği 1540 bağlantı noktası ve 3590 elemandan oluşan ve 3 blok bitişik şeklinde hazırlanan çaprazlı uzay çerçevedir. Üç boyutlu görünüş, yan görünüş ve plan görünüşleri Şekil 7.27 'de görülebilir. İlk, ikinci ve üçüncü bloklar sırasıyla 12 ft yüksekliğe sahip 12, 18 ve 30 kattan oluşmaktadır. Açıklıklar her iki yönde 24 ft uzunluğundadır. Yatay yüklere karşı ekonomik ve işlevsel bir rijitliğe sahip olabilmek amacıyla çerçevenin çevresi boyunca ve blokların bitişik yüzeyleri boyunca diyagonal çaprazlar yerleştirilmiştir. Diyagonal elemanların aynı zamanda yerçekimi kuvvetlerini de aktarmaya yardımcı oldukları bilinmektedir. Bütün kolonların temellere rijit olarak bağlandıkları varsayılmıştır.

3590 elemanlı çerçeve, fabrikasyon şartlarını sağlayabilmek amacıyla 129 boyutlandırma grubuna ayrılmıştır. Bunların 104 'ü kolon, 20 'si kiriş boyutlandırma grubu ve 5 'i ise çapraz boyutlandırma grubudur. Eleman gruplandırması Tablo 7.33 'de açık olarak verilmiştir. Eleman gruplandırması plan ve yan görünüş düzeylerinde yapılmıştır. Kolonların plan düzeyindeki gruplandırmaları Şekil 7.28 'de verilmiştir. 1-12 katları arasında (Şekil 7.28a) katlar 16 boyutlandırma grubuna ayrılmıştır. 13-18 katları arasında (Şekil 7.28b) 10 grup ve 19-30 arasında (Şekil 7.28c) 4 grup bulunmaktadır. Kirişler plan düzeyinde iç ve dış kirişler şeklinde gruplanmıştır. Yan görünüşe göre kolon ve kiriş boyutlandırma grupları ardarda gelen üç kat için aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Çaprazlar üç kat derinliğinde elemanlar olarak tasarlanmış ve her altı kat için bir çapraz grubu düşünülmüştür.

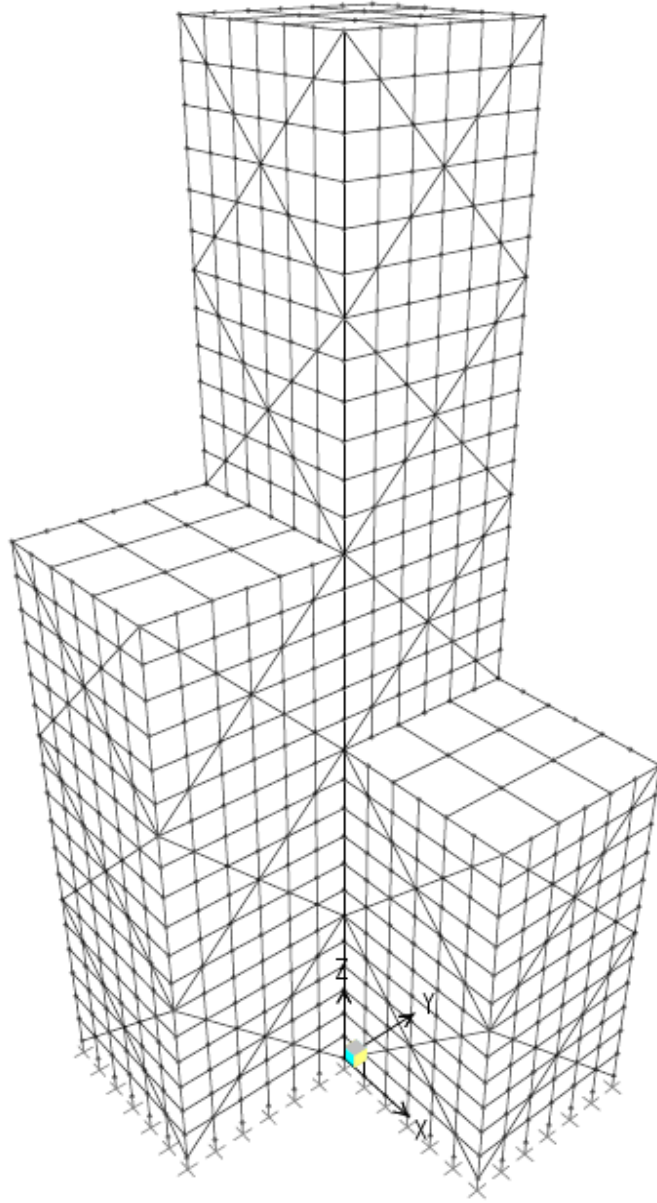
Oryantasyon grupları yapı yüksekliği boyunca birbirini takip eden kolonların aynı gruba sahip olacağı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, Şekil 7.28(a)daki her kolon grubu toplam on altı gruba denk gelecek şekilde bir oryantasyon grubuyla eşleştirilmiştir.

Çerçeve yerçekimi ve rüzgar yüklerinin kombinasyonuna maruz bırakılmıştır. Yükleme şartları ve kombinasyonları Bölüm 5.1 'de anlatıldığı gibi ASCE 7-05 [ASCE, 2005]'e göre düzenlenmiştir. Çatı katı ve normal katlardaki yükler Tablo 7.34 'de gösterilmiştir. Rüzgâr

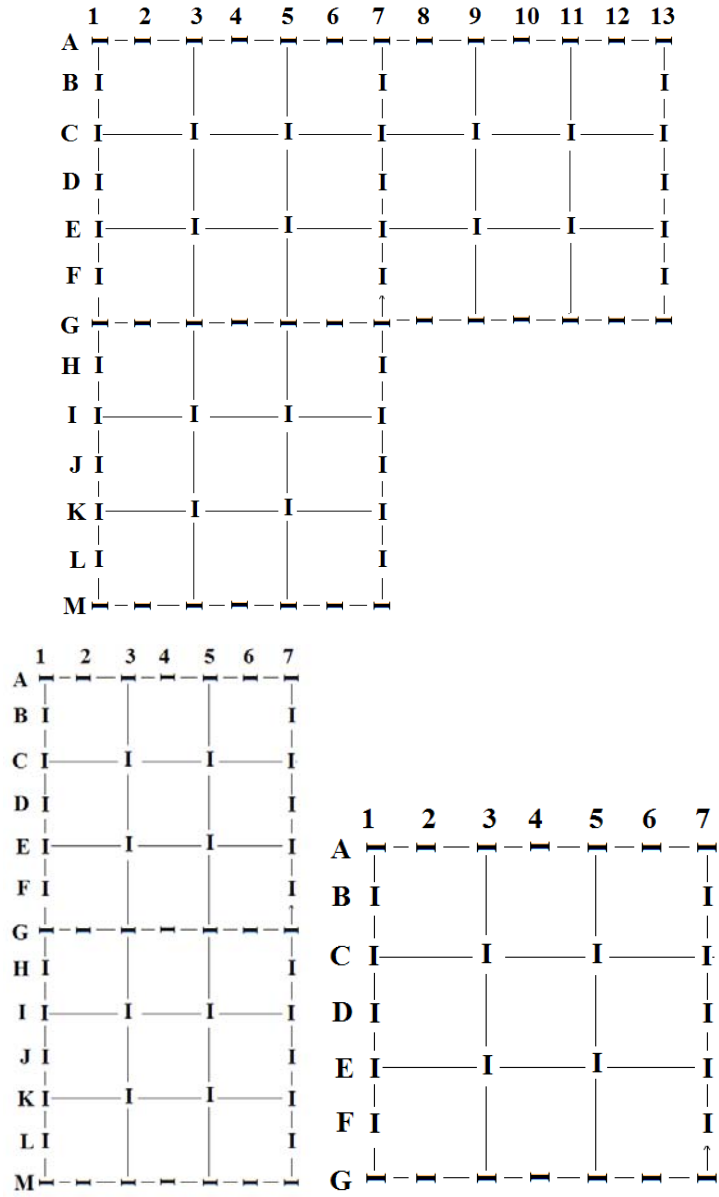
yükleri 105 mph (46.94 m/s) rüzgar hızına göre hesaplanmıştır. Bunlar Tablo 7.35 'de verilmiştir.

297 kesitten oluşan geniş başlıklı (W) profil listesi kolonların boyutlandırılması için dikkate alınırken, kirişler ve diyagoneller için ise listede bulunan, alan ve atalet özelliklerinin kullanıldığı 171 kesit ve alanları ile dönme yarıçaplarının hesaba katıldığı 147 kesit kullanılmıştır. Gerilme ve stabilite sınırlayıcıları ile geometrik sınırlayıcılar için ASD-AISC [ASD-AISC, 1989] şartnamesinden faydalanılmıştır. x ve y doğrultularındaki deplasman değerleri 27.43cm (10.8 in) ile ve katlar arası ötelenme değerleri ise 0.91cm (0.36in) ile sınırlandırılmıştır.

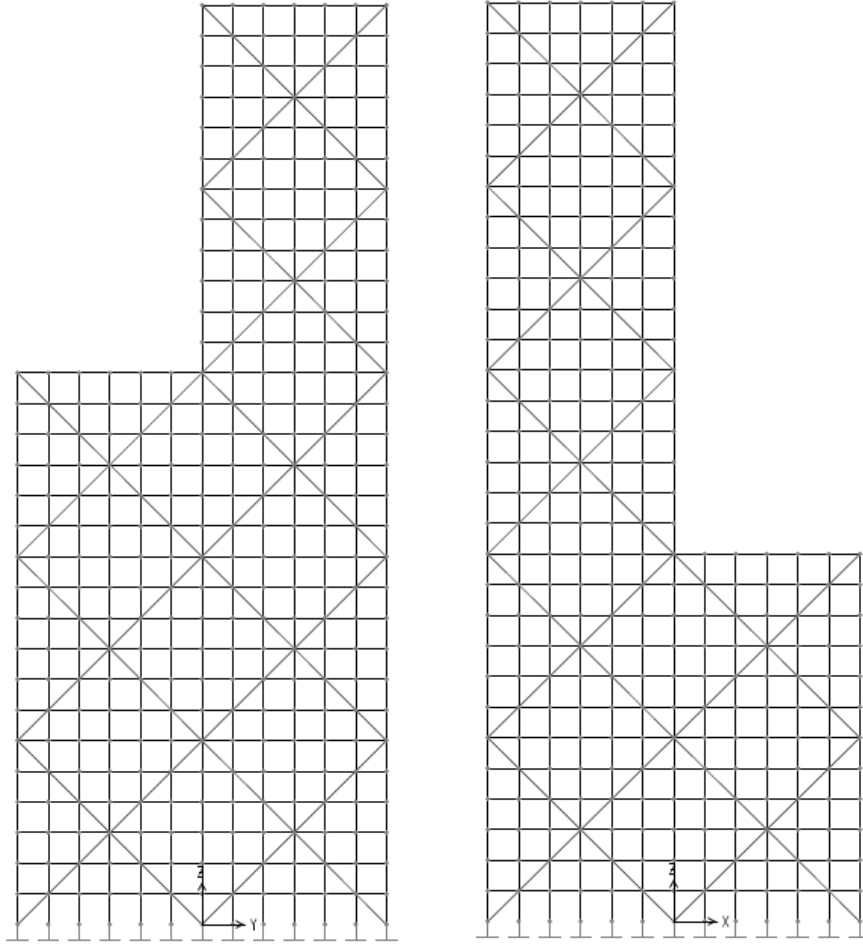
Bu örnekte iki tasarım durumu incelenmiştir. Öncelikle, sadece boyutlandırma değişkenlerinin dikkate alınmasıyla ve oryantasyon değişkenlerinin sabit tutulmasıyla minimum ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, boyutlandırma ve oryantasyon değişkenleri çerçevelerin ağırlığını minimize etmek amacıyla birlikte kullanılmıştır.



(a) 3 boyutlu görünüş

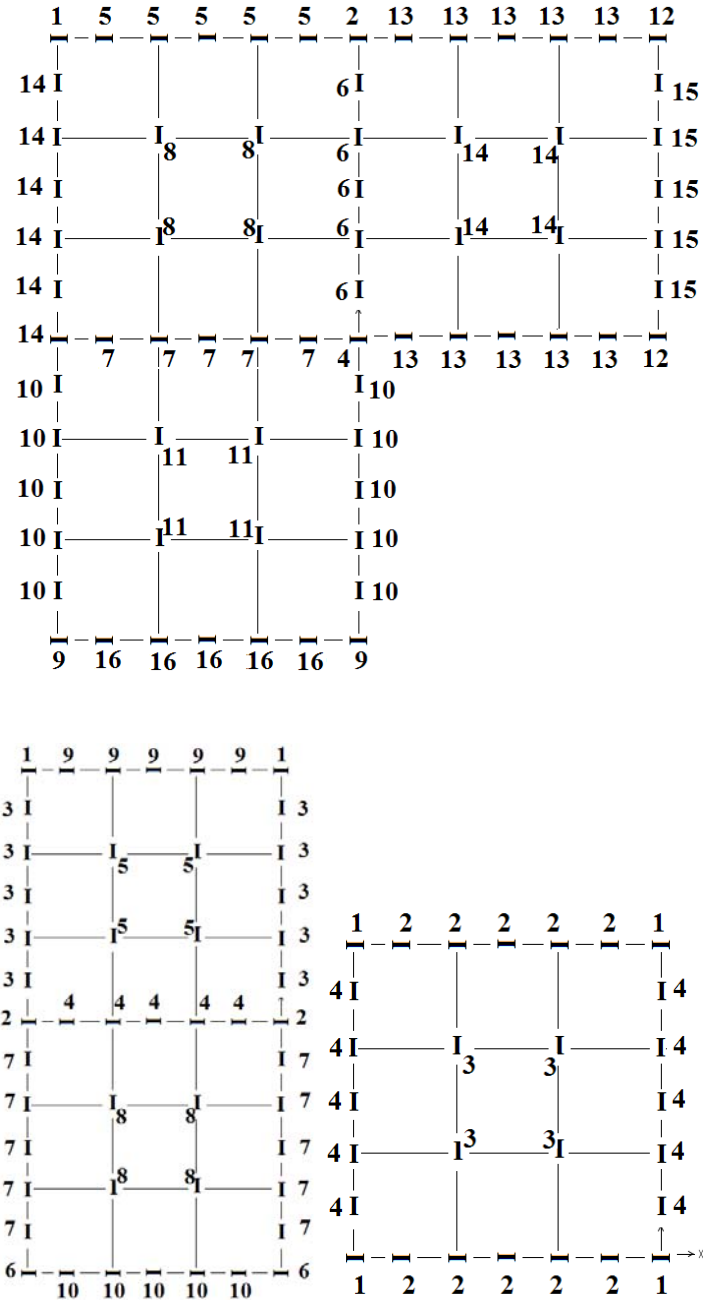


(b) Plan görünüşü



(c) Yan görünüş

Şekil 7.27 3590-elemanlı çelik çerçeve



Şekil 7.28 3590-elemanlı çelik çerçevenin plan görünüşünden gruplandırılması

Tablo 7.33 3590-elemanlı çerçevenin gruplandırması

Eleman grubu	Grup numarası	Eleman grubu	Grup numarası
1.,2.,3. katlar			
1	A1 aksı üzerinde köşe kolon	11	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
2	A7 aksı üzerinde köşe kolon	12	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon
3	G1 aksı üzerinde köşe kolon	13	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
4	G7 aksı üzerinde köşe kolon	14	A13 and G13 aksı üzerinde köşe kolon
5	B-F/1aksı üzerinde dış kolon	15	A/8-12, G/8-12 aksı üzerinde dış kolon
6	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	16	B-F/13 aksı üzerinde dış kolon
7	B-F/7 aksı üzerinde iç kolon	17	C/9-11, E/9-11 aksı üzerinde iç kolon
8	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon	18	iç kolon
9	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon	19	Dış kolon
10	M1, M7 aksı üzerinde iç kolon		
4.,5.,6.. katlar			
20	A1 aksı üzerinde köşe kolon	30	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
21	A7 aksı üzerinde köşe kolon	31	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon
22	G1 aksı üzerinde köşe kolon	32	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
23	G7 aksı üzerinde köşe kolon	33	A13 and G13 aksı üzerinde köşe kolon
24	B-F/1aksı üzerinde dış kolon	34	A/8-12, G/8-12 aksı üzerinde dış kolon

Tablo 7.33 (devamı)

25	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	35	B-F/13 aksı üzerinde dış kolon
26	B-F/7 aksı üzerinde iç kolon	36	C/9-11, E/9-11 aksı üzerinde iç kolon
27	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon	37	iç kolon
28	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon	38	Dış kolon
29	M1, M7 aksı üzerinde iç kolon		
7.,8.,9.. katlar			
39	A1 aksı üzerinde köşe kolon	49	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
40	A7 aksı üzerinde köşe kolon	50	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon
41	G1 aksı üzerinde köşe kolon	51	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
42	G7 aksı üzerinde köşe kolon	52	A13 and G13 aksı üzerinde köşe kolon
43	B-F/1aksı üzerinde dış kolon	53	A/8-12, G/8-12 aksı üzerinde dış kolon
44	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	54	B-F/13 aksı üzerinde dış kolon
45	B-F/7 aksı üzerinde iç kolon	55	C/9-11, E/9-11 aksı üzerinde iç kolon
46	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon	56	iç kolon
47	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon	57	Dış kolon
48	M1, M7 aksı üzerinde iç kolon		
10.,11.,12.. katlar			
58	A1 aksı üzerinde köşe kolon	68	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
59	A7 aksı üzerinde köşe kolon	69	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon

Tablo 7.33 (devamı)

60	G1 aksı üzerinde köşe kolon	70	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
61	G7 aksı üzerinde köşe kolon	71	A13 and G13 aksı üzerinde köşe kolon
62	B-F/1 aksı üzerinde dış kolon	72	A/8-12, G/8-12 aksı üzerinde dış kolon
63	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	73	B-F/13 aksı üzerinde dış kolon
64	B-F/7 aksı üzerinde iç kolon	74	C/9-11, E/9-11 aksı üzerinde iç kolon
65	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon	75	iç kolon
66	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon	76	Dış kolon
67	M1, M7 aksı üzerinde iç kolon		
13.,14.,15.. katlar			
77	A1,A7 aksları üzerinde köşe kolon	83	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
78	G1, G7 aksları üzerinde köşe kolon	84	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon
79	M1, M7 aksları üzerinde köşe kolon	85	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon
80	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	86	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
81	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	87	iç kolon
82	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon	88	Dış kolon
16.,17.,18.. katlar			
89	A1,A7 aksları üzerinde köşe kolon	95	H-L/1, H-L/7 aksı üzerinde dış kolon
90	G1, G7 aksları üzerinde köşe kolon	96	G/2-6 aksı üzerinde iç kolon
91	M1, M7 aksları üzerinde köşe kolon	97	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon

Tablo 7.33 (devamı)

92	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	98	I/3-4, K/3-4 aksı üzerinde iç kolon
93	A/2-6 aksı üzerinde dış kolon	99	iç kolon
94	M/2-6 aksı üzerinde dış kolon	100	Dış kolon
19.,20.,21.. katlar			
101	A1, A7, G1 and G7 aksları üzerinde köşe kolon	104	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon
102	A/2-6, G/2-6 aksları üzerinde dış kolon	105	iç kolon
103	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	106	Dış kolon
22.,23.,24.. katlar			
107	A1, A7, G1 and G7 aksları üzerinde köşe kolon	110	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon
108	A/2-6, G/2-6 aksları üzerinde dış kolon	111	iç kolon
109	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	112	Dış kolon
25.,26.,27.. katlar			
113	A1, A7, G1 and G7 aksları üzerinde köşe kolon	116	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon
114	A/2-6, G/2-6 aksları üzerinde dış kolon	117	iç kolon
115	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	118	Dış kolon
28.,29.,30.. katlar			
119	A1, A7, G1 and G7 aksları üzerinde köşe kolon	122	C/3-4, E/3-4 aksı üzerinde iç kolon
120	A/2-6, G/2-6 aksları üzerinde dış kolon	123	iç kolon
121	B-F/1, B-F/7 aksları üzerinde dış kolon	124	Dış kolon

Tablo 7.33 (devamı)

çaprazlar			
125	1-6 katları arası çaprazlar	128	19-24 katları arası çaprazlar
126	7-12 katları arası çaprazlar	129	25-30 katları arası çaprazlar
127	13-18 katları arası çaprazlar		

Tablo 7.34 3590 elemanlı çerçevenin kirişlerinin düşey yüklemesi

Kiriş türü	Düzgün yayılı yük	
	Dış kirişler	İç kirişler
	kN/m(lb/ft)	kN/m(lb/ft)
Çatı kirişleri	8.86 (607.04)	17.72 (1214.08)
Normal kat kirişleri	12.86 (881.04)	25.72 (1762.08)

(a) 24 ft açıklık

Tablo 7.35 105 mph (kN/m,lb/ft) rüzgâr hızı altındaki rüzgâr yükü değerleri

Kat	z (ft)	Rüzgarı karşılayan yüzey kN/m (lb/ft)	Rüzgar çıkış yüzeyi kN/m (lb/ft)
1	12	1,64 (112,5)	2,55 (174,3)
2	24	1,88 (128,7)	2,55 (174,3)
3	36	2,11 (144,5)	2,55 (174,3)
4	48	2,29 (156,9)	2,55 (174,3)
5	60	2,44 (167,2)	2,55 (174,3)
6	72	2,57 (176,1)	2,55 (174,3)
7	84	2,69 (184,1)	2,55 (174,3)
8	96	2,79 (191,2)	2,55 (174,3)
9	108	2,89 (197,8)	2,55 (174,3)

Tablo 7.35 (devamı)

10	120	2,98 (203,8)	2,55 (174,3)
11	132	3,06 (209,4)	2,55 (174,3)
12	144	3,13 (214,7)	2,55 (174,3)
13	156	3,21 (219,7)	2,55 (174,3)
14	168	3,28 (224,4)	2,55 (174,3)
15	180	3,34 (228,8)	2,55 (174,3)
16	192	3,4 (233,1)	2,55 (174,3)
17	204	3,46 (237,2)	2,55 (174,3)
18	216	3,52 (241,1)	2,55 (174,3)
19	228	3,57 (244,8)	2,55 (174,3)
20	240	3,63 (248,4)	2,55 (174,3)
21	252	3,68 (251,9)	2,55 (174,3)
22	264	3,73 (255,3)	2,55 (174,3)
23	276	3,77 (258,6)	2,55 (174,3)
24	288	3,82 (261,7)	2,55 (174,3)
25	300	3,87 (264,8)	2,55 (174,3)
26	312	3,91 (267,8)	2,55 (174,3)
27	324	3,95 (270,7)	2,55 (174,3)
28	336	3,99 (273,5)	2,55 (174,3)
29	348	4,03 (276,3)	2,55 (174,3)
30	360	2,04 (139,5)	1,27 (87,17)

7.3.6.2 Test Sonuçları

AES metodunun doğası dikkate alınarak toplam sekiz adet analiz yapıldı. Öncelikle, üç bağımsız analiz sadece boyutlandırma değişkenleri kullanılarak gerçekleştirildi. Daha sonra boyut değişkenleriyle birlikte oryantasyon değişkenlerinin de hesaba katıldığı beş adet çalışma daha yapıldı.

Her bir analiz sonucunda elde edilen ağırlık ve hacim değerleri Tablo 7.36 'da verilmiştir. Şekil 7.29 'da da bu analizlere ait tasarım-zaman eğrileri görülebilir. Tablo 7.36 ve Şekil 7.29 'dan da anlaşılabileceği gibi en iyi tasarım ağırlığı kolon oryantasyonlarının başlangıçta belirlendiği durum için 5,250,665.2lb (2,381,701.74kg) olarak elde edilmiştir. Oryantasyonların optimizasyon süresince değişimine izin verildiği durumda ise bu ağırlık 5,040,628.16lb (2,286,428.94kg) a düşürülmüştür. Tablo 7.37 'de her iki durum için elde edilen tasarımlara ait kesit atamaları verilmiştir. İkinci durum için elde edilen optimum kolon oryantasyonu Şekil 7.30 'da gösterilmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki optimum kolon oryantasyonları çerçeve ağırlığında % 3.6 gibi bir azalma meydana getirmiştir.

Tablo 7.36 Sekiz deneme sonunda 3590-elemanlı çerçeve için bulunan minimum ağırlık ve hacimler

	Sabit oryantasyonda kolonlar			Değişen oryantasyonda kolonlar				
	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
Toplam ağırlık	5312947,4	5365007,2	5250665,2	5040628,2	5041610,1	5063400,7	5148126,3	5167920,7
Toplam hacim	18773666	18957622,6	18553587	17811407	7814876,6	7891875,3	8191259,1	8261203,9

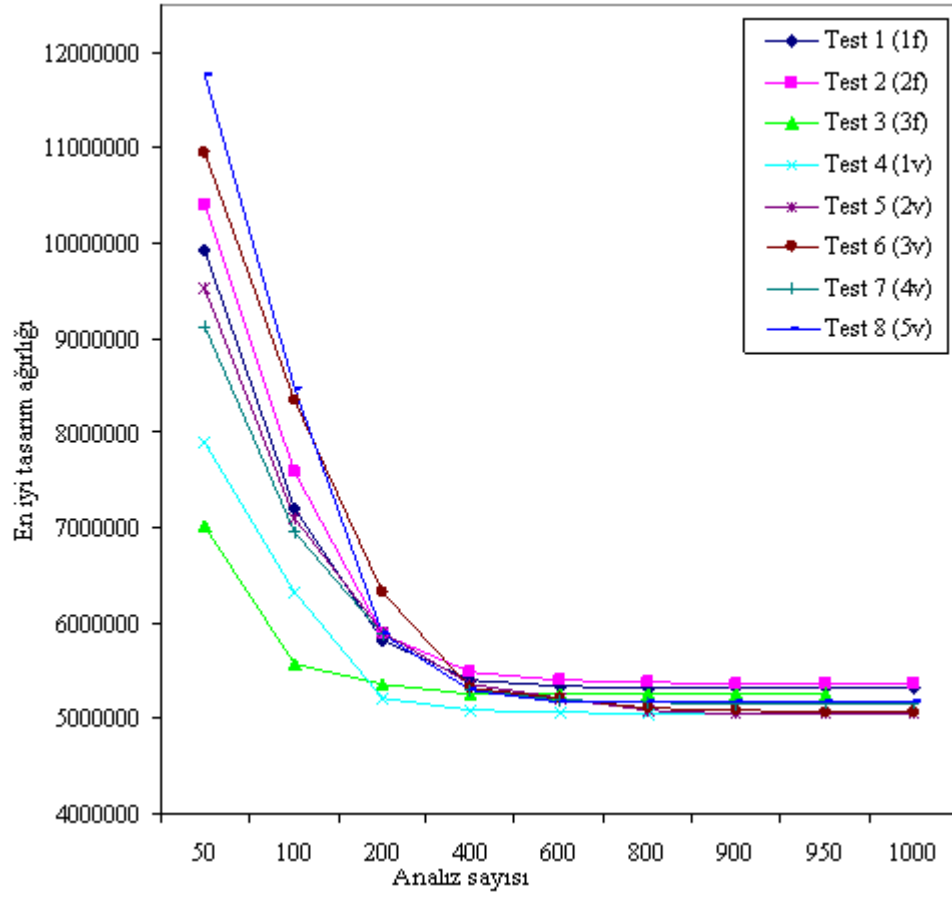
Tablo 7.37 3590-elemanlı çerçeve için optimum tasarımların kıyaslaması

Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan(in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
1	W40X277	524,52 (81,3)	W12X53	100,64 (15,6)
2	W33X241	457,42 (70,9)	W36X182	345,81 (53,6)
3	W36X160	303,23 (47)	W27X94	178,71 (27,7)
4	W24X250	474,19 (73,5)	W8X58	110,32 (17,1)
5	W21X166	314,84 (48,8)	W24X131	248,39 (38,5)
6	W14X145	275,48 (42,7)	W14X193	366,45 (56,8)
7	W40X149	282,58 (43,8)	W27X258	488,39 (75,7)
8	W27X178	337,42 (52,3)	W18X234	443,87 (68,8)
9	W33X567	1071 (166)	W30X433	819,4 (127)
10	W30X124	235,48 (36,5)	W21X57	107,74 (16,7)
11	W18X119	226,45 (35,1)	W24X76	144,52 (22,4)
12	W14X99	187,74 (29,1)	W14X90	170,97 (26,5)
13	W40X324	614,84 (95,3)	W30X326	617,42 (95,7)
14	W10X39	74,19 (11,5)	W8X31	58,903 (9,13)
15	W14X90	170,97 (26,5)	W12X58	109,68 (17)
16	W12X96	181,94 (28,2)	W10X60	113,55 (17,6)
17	W21X182	345,81 (53,6)	W14X176	334,19 (51,8)
18	W12X210	398,71 (61,8)	W8X48	90,97 (14,1)
19	W18X175	330,97 (51,3)	W36X182	345,81 (53,6)
20	W40X199	376,77 (58,4)	W14X53	100,64 (15,6)
21	W40X324	614,84 (95,3)	W14X68	129,03 (20)
22	W14X159	301,29 (46,7)	W14X176	334,19 (51,8)
23	W24X131	248,39 (38,5)	W18X158	298,71 (46,3)
24	W12X152	288,39 (44,7)	W33X201	381,29 (59,1)
25	W21X248	469,68 (72,8)	W27X217	411,61 (63,8)
26	W36X439	825,8 (128)	W33X387	729 (113)
27	W16X77	145,81 (22,6)	W10X39	74,19 (11,5)
28	W12X106	201,29 (31,2)	W12X72	136,13 (21,1)
29	W21X101	192,26 (29,8)	W18X97	183,87 (28,5)
30	W12X230	436,77 (67,7)	W40X328	621,93 (96,4)
31	W21X44	83,87 (13)	W10X30	57,032 (8,84)

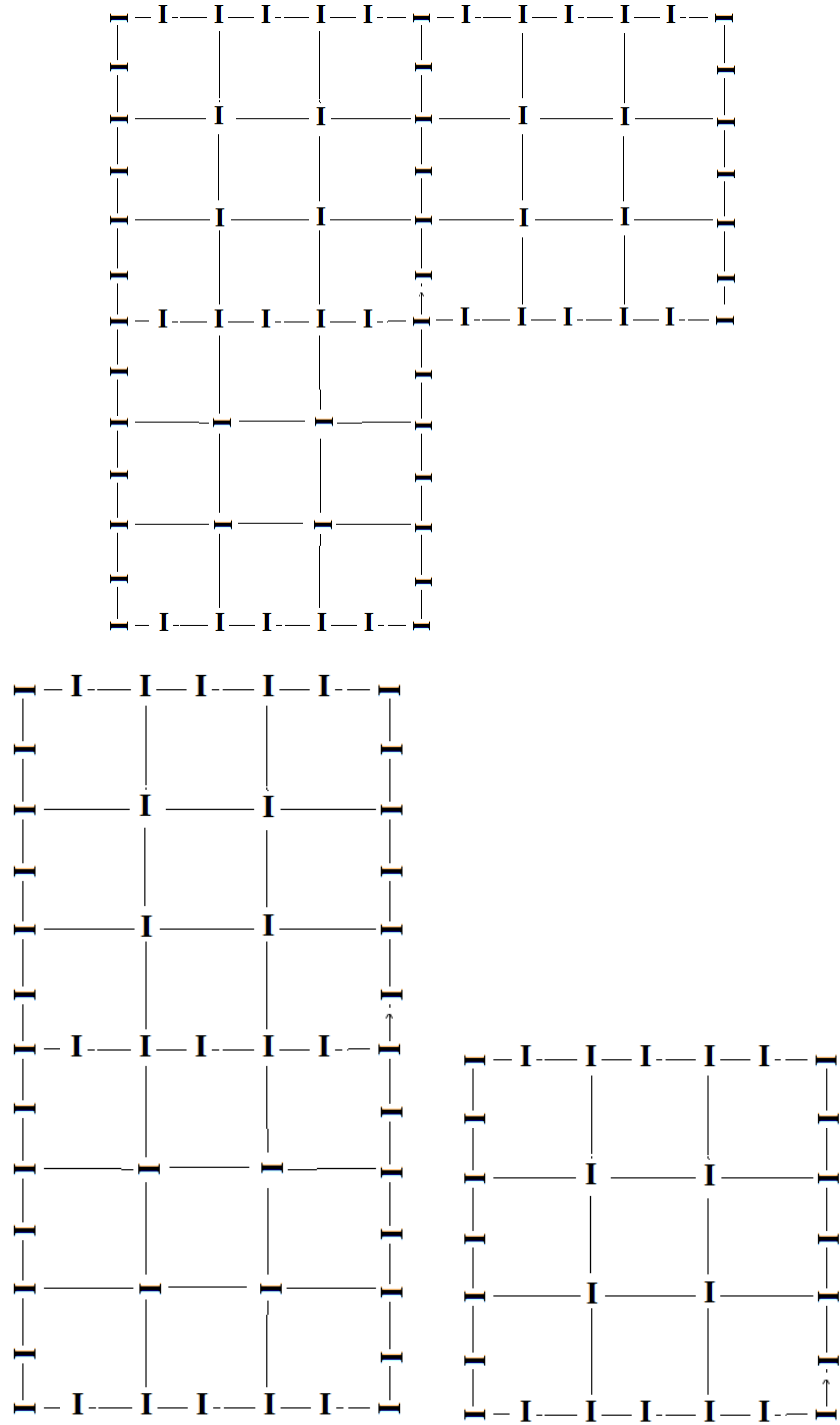
Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan(in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
32	W14X90	170,97 (26,5)	W14X48	90,97 (14,1)
33	W14X99	187,74 (29,1)	W12X45	85,16 (13,2)
34	W14X132	250,32 (38,8)	W12X136	257,42 (39,9)
35	W36X135	256,13 (39,7)	W14X99	187,74 (29,1)
36	W30X99	187,74 (29,1)	W30X191	361,93 (56,1)
37	W18X40	76,13 (11,8)	W14X34	64,52 (10)
38	W18X158	298,71 (46,3)	W14X109	206,45 (32)
39	W18X143	271,61 (42,1)	W30X124	235,48 (36,5)
40	W14X132	250,32 (38,8)	W27X161	305,81 (47,4)
41	W27X146	276,77 (42,9)	W14X159	301,29 (46,7)
42	W36X260	493,55 (76,5)	W14X145	275,48 (42,7)
43	W30X526	993,5 (154)	W27X368	696,8 (108)
44	W8X40	75,48 (11,7)	W27X146	276,77 (42,9)
45	W14X109	206,45 (32)	W16X77	145,81 (22,6)
46	W10X88	167,1 (25,9)	W12X79	149,68 (23,2)
47	W24X229	433,55 (67,2)	W36X245	465,16 (72,1)
48	W8X24	45,677 (7,08)	W14X99	187,74 (29,1)
49	W12X106	201,29 (31,2)	W14X48	90,97 (14,1)
50	W24X94	178,71 (27,7)	W16X40	76,13 (11,8)
51	W21X111	210,97 (32,7)	W14X90	170,97 (26,5)
52	W40X199	376,77 (58,4)	W8X58	110,32 (17,1)
53	W21X83	156,77 (24,3)	W33X141	268,39 (41,6)
54	W14X43	81,29 (12,6)	W12X40	76,13 (11,8)
55	W16X77	145,81 (22,6)	W27X94	178,71 (27,7)
56	W18X130	246,45 (38,2)	W18X119	226,45 (35,1)
57	W10X100	189,68 (29,4)	W27X102	193,55 (30)
58	W10X100	189,68 (29,4)	W30X108	204,52 (31,7)
59	W40X192	364,52 (56,5)	W40X215	408,39 (63,3)
60	W30X357	671 (104)	W24X306	579,35 (89,8)
61	W6X20	37,871 (5,87)	W14X38	72,26 (11,2)
62	W12X72	136,13 (21,1)	W16X67	127,1 (19,7)
63	W10X68	129,03 (20)	W10X88	167,1 (25,9)
64	W14X132	250,32 (38,8)	W14X132	250,32 (38,8)

Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan(in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
65	W8X15	28,645 (4,44)	W6X16	30,581 (4,74)
66	W18X46	87,1 (13,5)	W10X39	74,19 (11,5)
67	W24X84	159,35 (24,7)	W10X39	74,19 (11,5)
68	W14X48	90,97 (14,1)	W14X53	100,64 (15,6)
69	W14X99	187,74 (29,1)	W30X108	204,52 (31,7)
70	W16X77	145,81 (22,6)	W10X33	62,645 (9,71)
71	W12X106	201,29 (31,2)	W27X94	178,71 (27,7)
72	W30X173	327,74 (50,8)	W18X130	246,45 (38,2)
73	W36X182	345,81 (53,6)	W27X161	305,81 (47,4)
74	W40X298	565,16 (87,6)	W12X279	528,39 (81,9)
75	W14X61	115,48 (17,9)	W14X26	49,613 (7,69)
76	W10X68	129,03 (20)	W18X50	94,84 (14,7)
77	W12X79	149,68 (23,2)	W10X77	145,81 (22,6)
78	W44X224	424,52 (65,8)	W12X96	181,94 (28,2)
79	W12X58	109,68 (17)	W30X173	327,74 (50,8)
80	W12X40	76,13 (11,8)	W10X33	62,645 (9,71)
81	W18X130	246,45 (38,2)	W30X99	187,74 (29,1)
82	W14X120	227,74 (35,3)	W12X87	165,16 (25,6)
83	W36X135	256,13 (39,7)	W40X167	316,77 (49,1)
84	W40X244	462,58 (71,7)	W40X215	408,39 (63,3)
85	W5X19	35,742 (5,54)	W10X22	41,871 (6,49)
86	W12X87	165,16 (25,6)	W16X40	76,13 (11,8)
87	W21X101	192,26 (29,8)	W12X72	136,13 (21,1)
88	W14X53	100,64 (15,6)	W14X53	100,64 (15,6)
89	W12X40	76,13 (11,8)	W14X53	100,64 (15,6)
90	W44X198	374,19 (58)	W24X94	178,71 (27,7)
91	W18X106	200,64 (31,1)	W27X84	160 (24,8)
92	W24X207	391,61 (60,7)	W12X152	288,39 (44,7)
93	W18X35	66,45 (10,3)	W16X36	68,39 (10,6)
94	W14X109	206,45 (32)	W21X73	138,71 (21,5)
95	W10X100	189,68 (29,4)	W16X67	127,1 (19,7)
96	W36X150	285,16 (44,2)	W14X145	275,48 (42,7)
97	W16X67	127,1 (19,7)	W21X111	210,97 (32,7)

Grup Numarası	İlk kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım		Değişen kolon oryantasyonuyla bulunan en iyi tasarım	
	Hazır kesit	Alan(in ²) (cm ²)	Hazır kesit	Alan (in ²) (cm ²)
98	W30X191	361,93 (56,1)	W14X74	140,64 (21,8)
99	W21X68	129,03 (20)	W24X62	117,42 (18,2)
100	W30X173	327,74 (50,8)	W24X104	197,42 (30,6)
101	W18X55	104,52 (16,2)	W10X15	28,452 (4,41)
102	W18X130	246,45 (38,2)	W21X101	192,26 (29,8)
103	W10X112	212,26 (32,9)	W36X135	256,13 (39,7)
104	W16X77	145,81 (22,6)	W40X149	282,58 (43,8)
105	W21X44	83,87 (13)	W18X35	66,45 (10,3)
106	W8X10	19,097 (2,96)	W8X10	19,097 (2,96)
107	W18X35	66,45 (10,3)	W18X35	66,45 (10,3)
108	W10X12	22,839 (3,54)	W8X10	19,097 (2,96)
109	W18X35	66,45 (10,3)	W21X50	94,84 (14,7)
110	W12X14	26,839 (4,16)	W33X130	247,1 (38,3)
111	W21X44	83,87 (13)	W24X55	104,52 (16,2)
112	W10X15	28,452 (4,41)	W12X14	26,839 (4,16)
113	W21X83	156,77 (24,3)	W16X45	85,81 (13,3)
114	W24X84	159,35 (24,7)	W14X22	41,871 (6,49)
115	W16X40	76,13 (11,8)	W16X40	76,13 (11,8)
116	W8X15	28,645 (4,44)	W14X22	41,871 (6,49)
117	W16X40	76,13 (11,8)	W18X46	87,1 (13,5)
118	W16X45	85,81 (13,3)	W10X17	32,193 (4,99)
119	W18X50	94,84 (14,7)	W18X50	94,84 (14,7)
120	W6X15	28,581 (4,43)	W12X16	30,387 (4,71)
121	W33X118	223,87 (34,7)	W24X55	104,52 (16,2)
122	W12X26	49,355 (7,65)	W33X118	223,87 (34,7)
123	W24X55	104,52 (16,2)	W33X130	247,1 (38,3)
124	W24X55	104,52 (16,2)	W12X14	26,839 (4,16)
125	W14X233	441,93 (68,5)	W40X298	565,16 (87,6)
126	W14X283	537,42 (83,3)	W14X233	441,93 (68,5)
127	W14X257	487,74 (75,6)	W14X233	441,93 (68,5)
128	W14X159	301,29 (46,7)	W14X176	334,19 (51,8)
129	W14X90	170,97 (26,5)	W14X109	206,45 (32)
Ağırlık	2381701.735kg (5250665.2lb)		2,286,428.94kg(5,040,628.16lb)	



Şekil 7.29 3590 elemanlı çerçeve için minimum ağırlık-zaman grafiği



Şekil 7.30 3590-elemanlı çerçeve için optimum kolon oryantasyonu

BÖLÜM 8

OPTİMUM ÇAPRAZ MODELLERİ

8.1 GİRİŞ

Çelik çerçeveler yatay yükleri karşılamak üzere çeşitli şekillerde güçlendirilebilirler. Sözü edilen bu sistemler, moment taşıyıcı kiriş-kolon birleşimi (model A) (Şekil 8.1), moment taşıyan kiriş-kolon bağlantılarına sahip çaprazlı çerçeveler (Model B, C, D, E, F, G) (Şekil 8.2-8.7), dönme serbestliği bulunan bağlantılara sahip çaprazlı çerçeveler, (Model H- J) (Şekil 8.8-8.10), moment taşıyıcı ve dönme serbestliği bulunan bağlantılara sahip çaprazlı çerçeveler (Model K- M) (Şekil 8.11- 8.13) şeklinde sıralanabilir. Çelik çerçeve tasarımı aşamasında yatay yüklerin karşılanması amacıyla en çok tercih edilen sistem çaprazlı çerçeve sistemleridir. Bu bağlamda en uygun çapraz sisteminin seçimi ve uygun bağlantı tipinin kararlaştırılması tasarımın en önemli aşamasını oluşturur.

Çaprazlı sistemler yapılara etkiyen yanal yüklerin karşılanması amacıyla kullanılır. Diyagonal elemanlar dörtgen alanlara üçgenler oluşturacak şekilde yerleştirilir. Bu sistemler kolon ve kirişlerdeki eğilmeleri azaltırken yapının rijitliğini de artırır.

Bu sistemlerin pratikte sıklıkla kullanılmalarına etken teşkil eden birçok avantajı vardır.

- Bu tarz çerçevelerin köprüler, uçaklar, elektrik iletim kuleleri gibi birçok yapı modeline uygulanması mümkündür.
- Çaprazlı çerçevelerin üretim ve montaj aşamaları çok basittir. Çok fazla bir bilgi gereksinimi yoktur.
- Bulonlu bağlantılar kullanılırsa bu noktalarda ötelenme problemine rastlanmaz.
- Tasarımları kolaydır çünkü sistemi düşey ve yatay yükleri taşıyan kısımlar olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Yanal ötelenmesine izin verilmeyen çaprazlı çerçeveler yatay yükleri büyük ölçüde kolon ve çaprazların eksenel rijitlikleri doğrultusunda karşılayan düşey yönlü ankastre kafes sistemler olarak düşünülebilirler. Kolonlar devrilme momentlerini rüzgarın etki yüzeyinde bulunan elemanlarda çekme ve rüzgarın çıkış yönündeki elemanlarda basınç gerilmesi olarak karşılayan kordonlar şeklinde davranış gösterirler. Diyagonal elemanlar ise eğilmenin yönüne bağlı olarak eksenel çekme veya basınç şeklinde etkiyebilen yatay kesme kuvvetini karşılayan gövde elemanları olarak işlev görürler. Sistem bütün olarak üçgenlere ayrılmış bir kafes haline getirildiğinde kirişler eksenel yükleri karşılayan elemanlar şeklinde davranırlar. Sadece çaprazların kendilerine eksantrik olarak bağlandığı durumlarda eğilmeye karşı koyarlar. Yatay yükler geri dönüşlü olduklarından ve çaprazlar çekme ve basınca maruz kaldıklarından çoğunlukla basıncın çok yoğun olduğu durumlar için tasarlanırlar [Taranath, 2005].

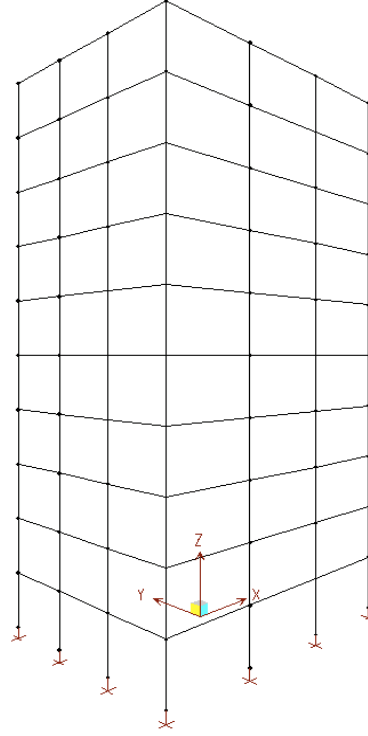
Çaprazlarla desteklenen yapıların yatay doğrultudaki deplasmanları o kadar küçüktür ki ihmal edilebilirler ve yapı yatay öteleme yapmayan yapı şeklinde dikkate alınabilir.

Çaprazlı açıklıklar yapı planı üzerinde minimum etki oluşturacak şekilde ve aynı zamanda çerçevenin inşaatı sonrasındaki yatay yük dağılımını ve birleşim noktalarının hareketlerini dikkate alarak yerleştirilirler.

Çaprazlı-açıklığa sahip sistemler diyagonal, çarpı şekilli, K ve eksantrik düzende yapılabilirler. Çapraz elemanlarının eğilme momentinin yoksunluğunda sadece basınç veya basınç ve çekme gerilmelerine maruz kalması üçgenlere bölünmüş bu sistemlerin bir avantajı olarak düşünülebilir. Dolayısıyla elemanlar bütün olarak rijit bir yapı sağlamaları şartıyla göreceli olarak hafiftirler. Eksantrik çapraz durumunda sistem yatay kiriş elemanlarının eğilmesine bağlıdır. Bu düzenleme sismik yükler altında en önemli etken olan esnek bir yapı davranışı ortaya çıkarır.

Tek diyagonal çaprazların kullanıldığı durumlarda rüzgar yönündeki değişme ihtimalleri dikkate alınarak çekme ve basınç kuvvetlerine karşı dayanımın sağlanması gerekir. Bu şartlar altında çapraz elemanların öz ağırlıklarının oluşturacağı sehim önlemek amacıyla minimum 250 değerinde narinlik oranına sahip olmaları gerekir.

Basınç çaprazları için birçok şekil kullanılabileceği gibi yapısal olarak en uygunu dairesel kesitlerin kullanılmasıdır. Bunun yanında dairesel kesitlerin korozyona karşı dayanıklı olması ve açık kesitlere nazaran daha estetik olması avantaj olarak düşünülebilir.

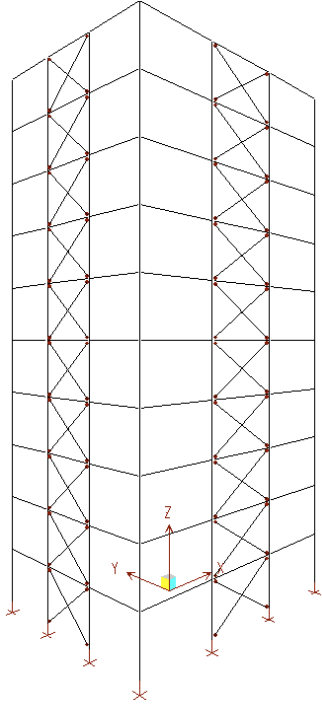


Şekil 8.1 Model A (çaprazsız sistem)

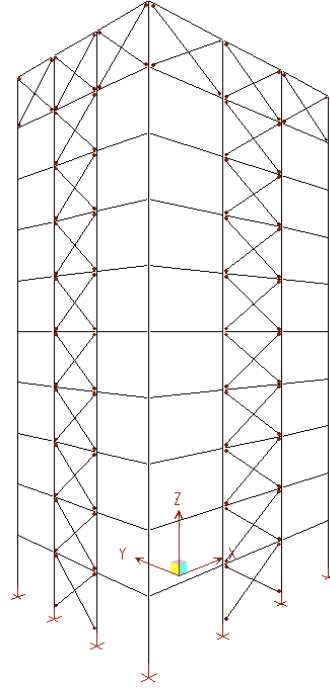
8.2 Çapraz Türleri

Pratikte kullanılan birçok çapraz çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılanları Şekil 8.2 ile Şekil 8.13 arasında gösterilmiştir.

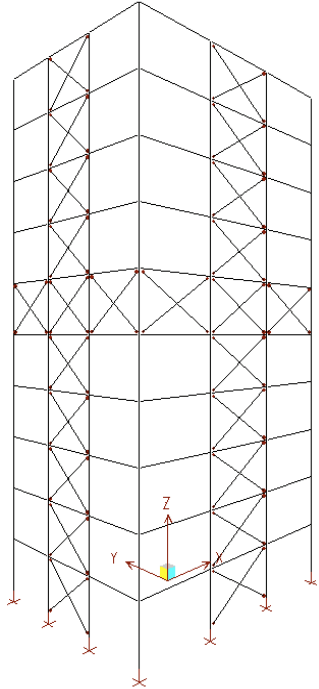
- Model A : Çapraz yok..bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit.
- Model B : Orta açıklık X- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit.
- Model C : Orta açıklık X- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit ve buna ilaveten en üst kat X- türündeki sistemlerle destekli.



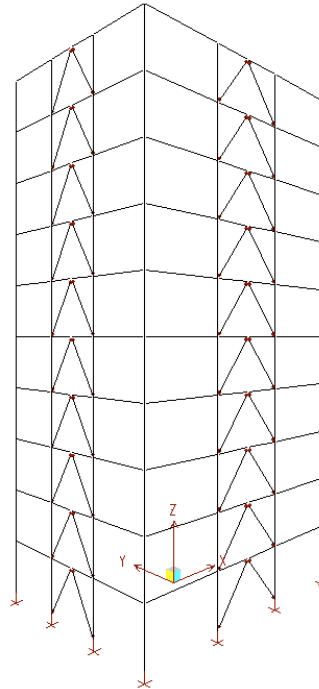
Şekil 8.2 Model B



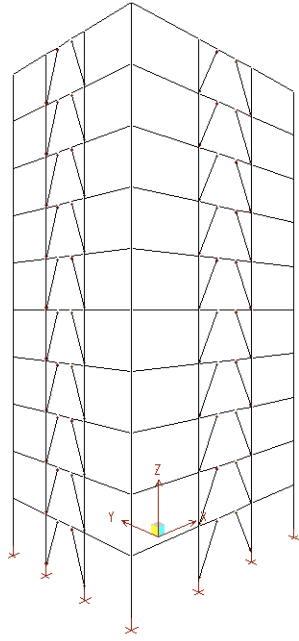
Şekil 8.3 Model C



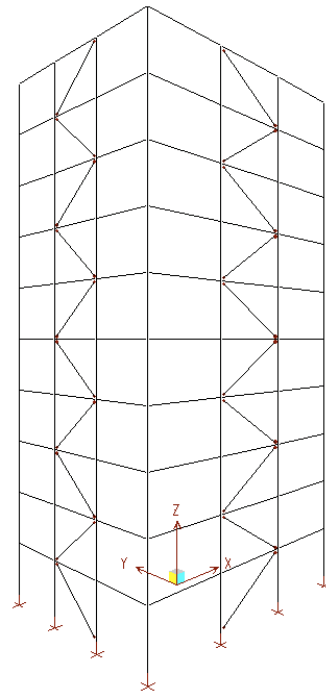
Şekil 8.4 Model D



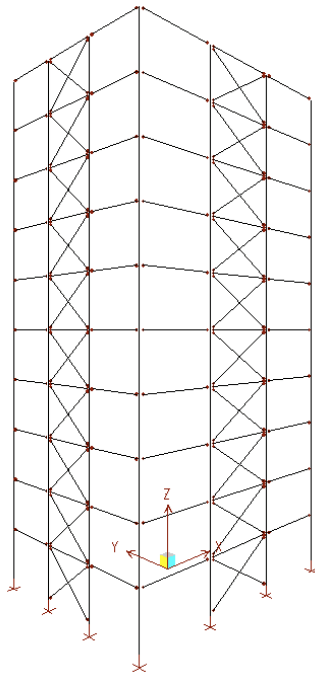
Şekil 8.5 Model E



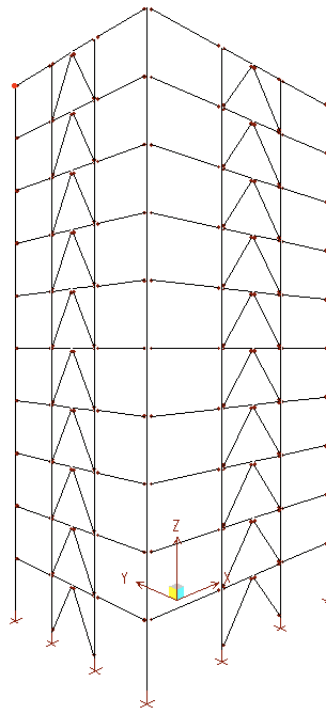
Şekil 8.6 Model F



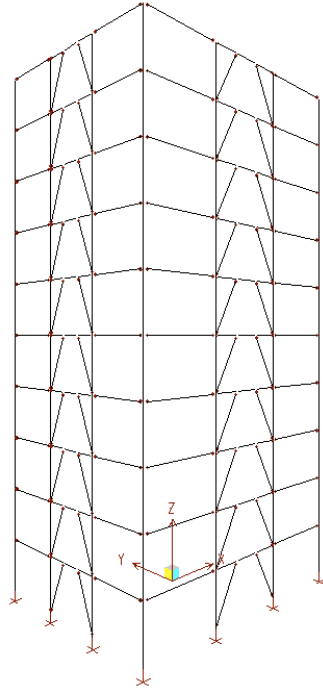
Şekil 8.7 Model G



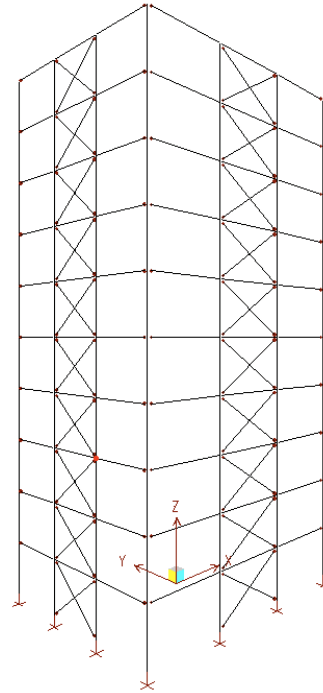
Şekil 8.8 Model H



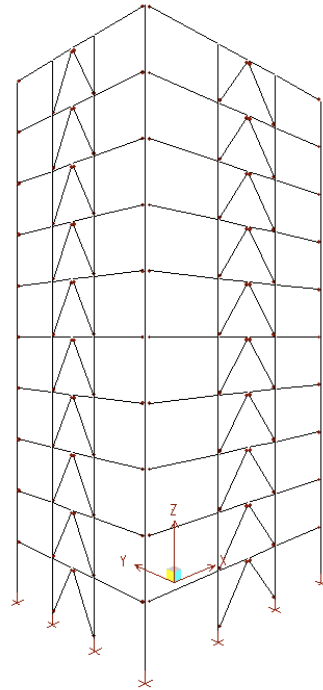
Şekil 8.9 Model I



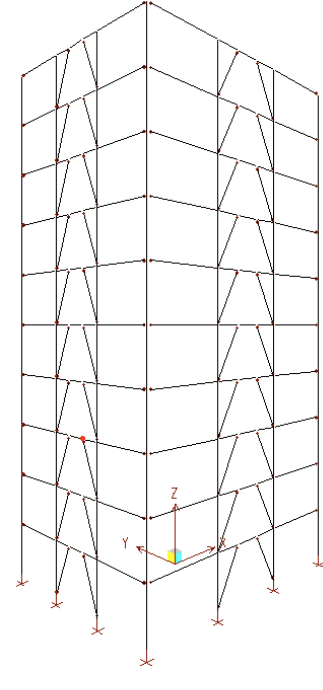
Şekil 8.10 Model J



Şekil 8.11 Model K



Şekil 8.12 Model L



Şekil 8.13 Model M

- Model D : Orta açıklık X- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit ve buna ilaveten orta kat X- türündeki sistemlerle destekli.
- Model E : Orta açıklık K- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit.
- Model F : Orta açıklık Dirsek-türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit.
- Model G : Orta açıklık Z- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları rijit.
- Model H : Orta açıklık X- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları pinli.
- Model I : Orta açıklık K- türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları pinli.
- Model J : Orta açıklık Dirsek-türündeki sistemlerle destekli ve bütün kolon ve kiriş bağlantıları pinli.
- Model K : Orta açıklık X- türündeki sistemlerle destekli ve sadece dış kolon-kiriş bağlantıları pinli.
- Model L : Orta açıklık K- türündeki sistemlerle destekli ve sadece dış kolon-kiriş bağlantıları pinli.
- Model M : Orta açıklık Dirsek-türündeki sistemlerle destekli ve sadece dış kolon-kiriş bağlantıları pinli.

8.3 Yapıların Maliyet Analizi

Yapıların gerçekçi tasarımlarının yapılabilmesi için gerçek yapı özellikleri, çoklu yükleme şartları ve tasarım sınırlayıcıları gibi faktörlerin dikkate alınması gereklidir. Birçok çalışmada en düşük ağırlığa sahip olan yapının en ekonomik olduğu düşünülmektedir. Fakat bu ancak düşük yapı maliyeti sağlayabilecek bir yaklaşım olarak düşünülebilir.

Mevcut çalışmada kullanılan modellerin yapısal maliyetleri [Pavlovic et. al., 2004] de verilen formüller yardımıyla hesap edilebilir.

Bir yapının maliyeti beş elemandan oluşmaktadır. Bunlar elemanların toplam malzeme fiyatları C_{el} , bağlantıların malzeme ve yapım maliyetleri C_j , toplam taşıma giderleri C_t , katların yükselmesi için oluşan giderler C_{er} ve ekstra harcamalar C_{ex} şeklinde sıralanabilir. Buna göre yapının toplam inşaat maliyeti aşağıdaki formül ile verilebilir.

$$C_{ST} = C_{el} + C_j + C_t + C_{er} + C_{ex} \quad (66)$$

8.3.1 Elemanların Maliyeti

Çelik elemanların maliyeti yapıyı oluşturan bütün elemanların kütlesine bağlıdır ve elemanların toplam maliyeti (C_{el}) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$C_{el} = k_m m_{el} \quad (67)$$

Buradaki $k_m = 0.40$ çeliğin *euro/kg* cinsinden birim maliyeti, m_{el} yapıdaki tüm elemanların kilogram cinsinden kütlesidir.

8.3.2 Bağlantıların Maliyeti

Bağlantıların maliyet analizi oldukça karmaşıktır ve farklı proseslerin maliyetleri toplamını kapsar. Bağlantı noktalarının maliyeti (C_j) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_j = C_{jm} + C_{jn} \quad (68)$$

$$C_{jm} = C_{wm} + C_{bm} + C_{sm} + C_{pm} \quad (69)$$

$$C_{jn} = C_{wn} + C_{hn} \quad (70)$$

Burada;

C_{jm} bağlantı noktalarının euro cinsinden toplam maliyet değeri, C_{jn} ise bu bağlantı noktalarının euro cinsinden yapım maliyetidir.

$C_{wm}, C_{bm}, C_{sm}, C_{pm}$ sırasıyla kaynaklama maliyeti, bulonlama maliyeti, güçlendirme malzemelerinin maliyeti, ve uç plakası maliyetidir.

C_{wn} , kaynaklama üretimi maliyetinin euro cinsinden değeri ve C_{hn} ise bulonlar için delik açma maliyetidir.

8.3.3 Bağlantı Noktalarındaki Malzeme Maliyeti

$$C_{jm} = C_{wm} + C_{bm} + C_{sm} + C_{pm} \quad (71)$$

$$C_{wm} = k_{wm} M_w L_w \quad (72)$$

$$C_{bm} = k_{bm} n_b \quad (73)$$

$$C_{sm} = k_s m_{sm} \quad (74)$$

$$C_{pm} = k_s m_{pm} \quad (75)$$

Bu formüllerde;

$k_{wm} = 1.40$ kaynak malzemesinin euro/kg cinsinden birim maliyeti,

$M_w = 1.33 a_w^2 + 0.19 a_w - 0.02$ kaynak için gereken malzeme miktarının kg / mt cinsinden değeri, L_w , mt cinsinden toplam kaynak uzunluğu değeri, a_w cm cinsinden kaynak boyutudur ve bu çalışmada plaka kalınlığı kadar alınmıştır.

$k_{bm} = 3.076d^2 - 7.373d + 4.62$ bulonların birim maliyetinin *euro/bolt* cinsinden değeri, n_b toplam bulon sayısı ve d ise bulon yarıçapının cm cinsinden ölçüsüdür.

$k_m = 0.40$ çeliğin *euro/kg* cinsinden birim maliyeti, m_{sm} ise güçlendirme malzemelerinin miktarıdır.

m_{sm} , plaka malzemesinin kg cinsinden toplam ağırlık değeri.

x -türünde tasarlanan çaprazların orta birleşimlerinde birbirleriyle olan bağlantılarının üretim maliyetleri ihmal edilebilir.

8.3.4 Bağlantı Noktalarının Montaj Maliyeti

$$C_{jn} = C_{wn} + C_{hn} \quad (76)$$

$$C_{wn} = k_{wn} (f_{wn} T_{wn} L_w + T_{wne}) \quad (77)$$

$$C_{hn} = k_{hn} (n_h (t_p + t_{pe}) / V_h + T_{hne}) \quad (78)$$

Burada;

$k_{wn} = 0.123$ *euro/dakika* cinsinden kaynak yapımının birim maliyeti, $f_{wn} = 1.40$ işgücü miktarını artıran bir faktör, T_{wn} , kaynağın birim uzunluğu için gereken operasyon zamanıdır ve

$$T_{wn} = 17.26 a_w^2 + 2.9 a_w + 1.82 \quad (79)$$

Formülüyle hesap edilir. Bu formüldeki a_w cm cinsinden kaynak miktarıdır.

L_w metre cinsinden kaynak uzunluğudur. $T_{wne} = 0.3$ ise dakika türünden herhangi bir ek kaynak zamanıdır

$k_{hn} = 0.323 \text{ euro/dakika}$ cinsinden bulon boşluğu yapımının birim maliyetini, n_h boşluk sayısı, t_p delinmiş plakanın cm cinsinden kalınlığını ve t_{pe} ek delik mesafesini ifade eder. V_h cm/dakika türünden delme hızıdır ve aşağıdaki formülle bulunur.

$$V_h = 0.763d^2 - 5.720d + 20.96 \quad (80)$$

Bu formüldeki d cm cinsinden delik çapını ifade eder. $T_{hne} = 11.9$ ise hazırlama zamanı için ek sürenin dakika türünden ifadesidir.

8.3.5 Taşıma Maliyetleri

Taşıma giderlerinin tespit edilmesi zor bir işlem olduğu için elemanların toplam kütesine bağlantılı olarak belirlenebilir. Bu bağıntı sadece bir yaklaşım olarak düşünülmelidir. Sonuç olarak taşıma giderleri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$C_t = k_t m_s \quad (81)$$

Burada $k_t = 0.022$ taşıma maliyetinin euro/kg cinsinden birim değeridir. m_{st} yapının toplam ağırlığının kg cinsinden değeridir.

8.3.6 İnşaat Maliyeti

Taşıma maliyetine benzer olarak yapının inşaat maliyeti de yapı kütesinin fonksiyonudur. İnşaat maliyeti (C_{er}) aşağıdaki formül kullanılarak hesap edilebilir.

$$C_{er} = k_{er} T_{er} m_{st} \quad (82)$$

$k_{er} = 120.20$ insan ve makina gücünün dikkate alınması ile belirlenen saat başına işgücünün euro/saat cinsinden birim maliyet değeridir. $T_{er} = 0.0014$ çeliğin 1 kg ının inşaatı için bir insanın harcayacağı zamanın saat/kg cinsinden değeridir.

8.3.7 Ekstra Maliyetler

Bir yapının inşaatı aşamasında maliyeti etkileyen ve dikkate alınması gereken birçok ekstra gider vardır. Bunlar boyama, çelik başlıklarının hizalanması, yüzey hazırlaması, elemanların kesilme ve kaynaklanması şeklinde sıralanabilir. İncelenen modeller basitlikleri açısından çok benzer olduklarından diğer giderler yapının ağırlığına bağlı fonksiyon olarak alınabilir. Ekstra maliyetler bütün modeller için 0.184 *euro/kg* şeklinde kabul edilmiştir. Bu değer Pavlovic, Krajnc, & Beg, [Pavlovic et. al., 2004] de çözülen örnek problem dikkate alınarak kararlaştırılmıştır.

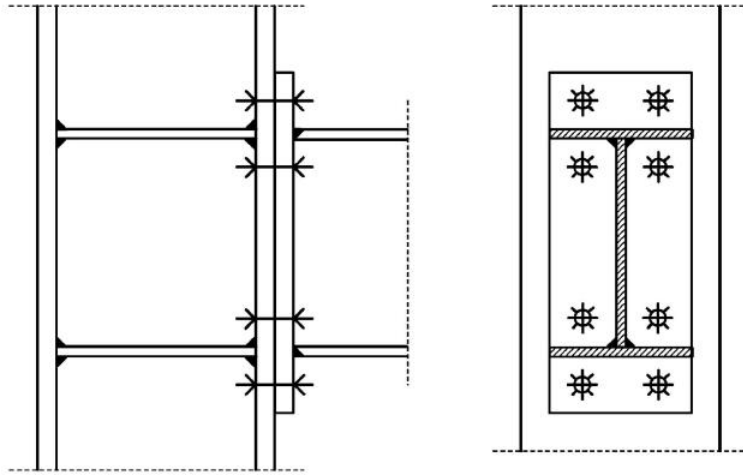
8.4 TEST YAPILARI

10, 20 ve 30 katlı üç farklı yapı dikkate alındı ve her yapı için önceden tarif edilen çaprazlama modelleri uygulandı. Bu yüzden, farklı çaprazlama modellerinin ve çerçeve yapıların performanslarını karşılaştırmak için pratik tasarım etkenleriyle 39 farklı model çalışıldı. Elemanlarının kesitleri tasarım değişkenleri kabul edilerek bu yapılar minimum ağırlık için tasarlandılar. Minimum ağırlıklara göre tasarımlar tamamlandıktan sonra yapıların maliyetleri hesaplandı. Tüm tasarım örnekleri için çeliğin şu özellikleri kullanıldı; elastisite modülü (E)=29.000 ksi (203.893,6 MPa) ve akma gerilmesi (F_y)=36 ksi (253,1 Mpa).

Tasarım kodlarında yer alan kullanılabilir kesit listelerinden seçilmiş olan çelik kesit kümelerinin azalan bir sırada sınıflandırılması ve toplanması ile hazırlanan bir tasarım havuzu gereklidir. Tasarım havuzunun içerdiği bu kesitlere atanan sıra numaraları 1 ile toplam kesit sayısı numarası arasında değişir. Bu sıra numaraları tasarım değişkenleri olur. Örneğin, tasarım havuzunda 272 çelik kesit yer alıyorsa ve çerçeve yapıda tasarlanacak 35 eleman grubu varsa AES tekniği her bir eleman grubu için 1 ve 272 arasında rastgele bir tam sayı seçer. Her bir eleman grubu için bu seçim yapıldıktan sonra her bir çelik kesitin en kesitsel özellikleri tasarım havuzundan kullanılabilir hale gelir. Daha sonra yapı, bu kesitlerle dış yükler altında vereceği tepkinin tasarım kodlarında yer alan sınırlandırılmalar içinde olup olmadığını kontrol etmek için analiz edilir. 297 hazır kesitten oluşan geniş I-kesit (W) tablosu

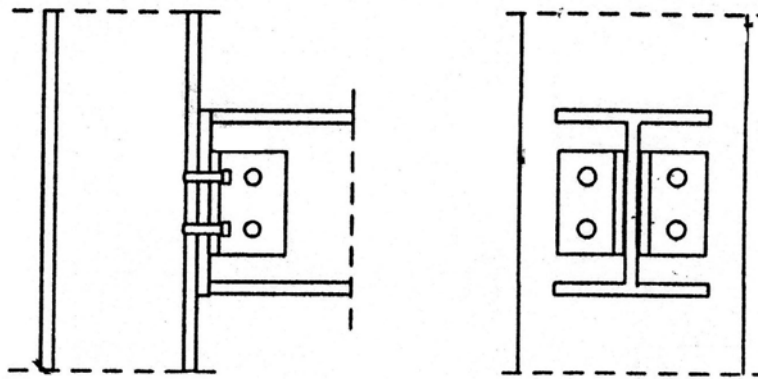
kolon elemanları boyutlandırmak için kullanılırken kirişler ve diyagonaller 171 ve 147 ekonomik kesite sahip geniş I-kesit ayrık kümelenendirilmiş tablolardan seçilirler.

Rijit kiriş-kolon bağlantıları Şekil 8.14’de gösterilen modele göre tasarlanır. Takviye parçaları üç kenar boyunca dolgu kaynaklama ile kaynaklanır ve kenar levhaları, kaynak boyutu kiriş levhanın kalınlığına eşit olacak şekilde kirişlere küt kaynak ile tutturulurlar. Levhada 8 adet bulon bulunur.



Şekil 8.14 Rijit kiriş-kolon bağlantısı

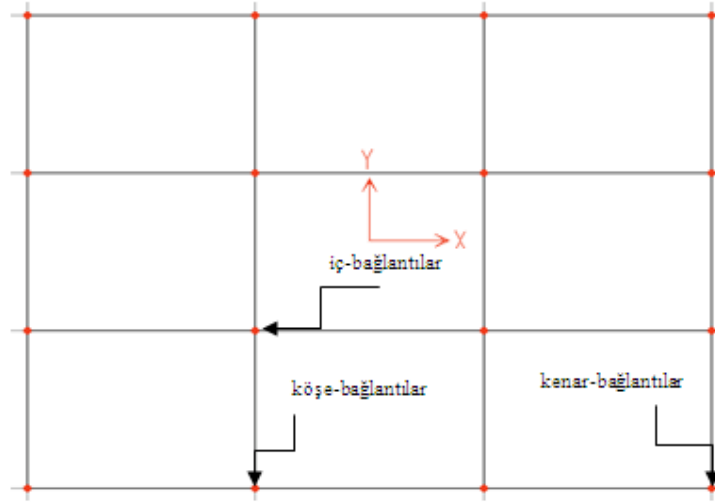
Mafsallı kiriş-kolon bağlantıları Şekil 8.15’e göre tasarlanmıştır.



Şekil 8.15 Mafsallı kiriş-kolon bağlantıları

Üç bağlantı şekli vardır; köşe bağlantılar, iç bağlantılar ve kenar bağlantılar. Bu bağlantılar Şekil 8.16’da gösterilmiştir. Bağlantıların detaylı maliyet hesaplamaları 10, 20 ve 30 katlı yapıların her biri için bu üç bağlantı türü uygulanarak yapılmıştır. Bağlantılara etkiyen kesme kuvvetleri yapıdaki ortalama kesme kuvvetleri olarak alınmıştır. Maliyetler önceki kısımda verilmiş olan formüllere göre hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 8.1’de verilmiştir.

Yapının plan boyutları özdeşdir ve Şekil 8.17’de gösterilmiştir. Yapılar 3x3 boşluklu çerçevelerdir. X-boşluk ve Y-boşluk boyutları sırasıyla 20 ft ve 15 ft ‘tir. Çerçevelerin kat yükseklikleri 12 ft ‘tir.



Şekil 8.16 Bağlantı Yerleri

Tablo 8.1 Bağlantı Maliyetleri

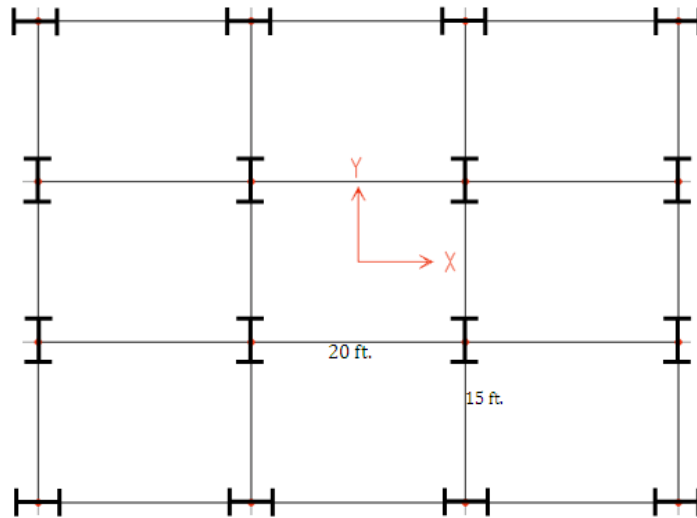
	Bağlantı Maliyeti (Euro)					
	İç Bağlantılar		Kenar Bağlantılar		Köşe Bağlantılar	
Bağlantı Tipi	Rijit	Mafsallı	Rijit	Mafsallı	Rijit	Mafsallı
10 Katlı	68.11	10.87	101.38	14.81	152.79	18.78
20 Katlı	179.84	15.90	318.06	21.88	362.77	29.49
30 Katlı	323.41	44.91	462.02	64.23	602.44	84.36

Yapının simetriliğini ve yapı elemanlarının üretim gereksinimlerini dikkate alarak yapı elemanları sırasıyla 10, 20 ve 30 katlı çerçeveler için 35, 70 ve 105 eleman grubu (bağımsız boyut değişkenleri) olacak şekilde gruplandırılmışlardır. Eleman gruplandırmaları;

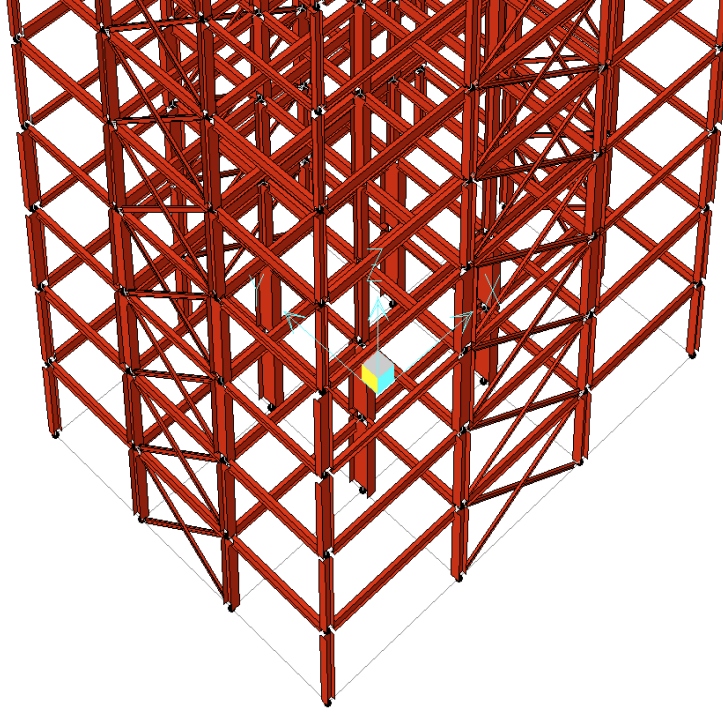
- Her iki katta bir iç kirişler,
- Her iki katta bir dış kirişler,
- Her iki katta bir köşe kolonlar,
- Her iki katta bir x-z yönündeki dış kolonlar,
- Her iki katta bir y-z yönündeki dış kolonlar,
- Her iki katta bir iç kolonlar,
- Her iki katta bir çapraz elemanlar,

aynı en kesite sahip olacak şekilde yapılmıştır.

Yerçekimi kuvveti ve rüzgar kuvveti iki yük kombinasyonu şeklinde birleştirilmiştir. İlk yükleme şartında, yerçekimi yükleri rüzgar yükleri ile birlikte x eksenı boyunca uygulanırken ($1.0GL+1.0WL-x$), ikincisinde ise aynı yükler y eksenı boyunca uygulanmıştır ($1.0GL+1.0WL-y$). Bir sonraki kısımda, Bölüm 5’de verilmiş olan metotlara göre hesaplanan tasarım yüklerinin sayısal değerleri verilmiştir.



Şekil 8.17 Modellerin tipik plan görünüşleri



Şekil 8.18 Model B'nin 3-D görünüşü

8.4.1 Yerçekimi Yükleri

Tüm yapılar yanal rüzgâr kuvvetlerine ilaveten çeşitli yerçekimi yüklerine maruz bırakılmışlardır. Döşeme tablasına etkiyen yerçekimi yükleri ölü (DL), hareketli (LL) ve kar (SL) yüklerini kapsar. Çatı hariç tüm katlar 60.13 lb/ft^2 (D_d) ölü tasarım yükü ve 50 lb/ft^2 (D_l) hareketli tasarım yüküne maruz bırakılmıştır. Çatı ise 60.13 lb/ft^2 ölü tasarım yüküne ek olarak 15.75 lb/ft^2 kar tasarım yüküne maruz bırakılmıştır. Yapıların üzerindeki yerçekimi yükleri Bölüm 5'de açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Çatı ve tablaların iç ve dış kirişlerinde sonuçta oluşan yerçekimi yükleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Hesaplanan yerçekimi yükleri tablalar için dağıtım formülleri kullanılarak kirişler üzerine düzgün yayılı yükler şeklinde uygulanmıştır.

Tablo 8.2 Çerçevelerin yerçekimi yükleri

KİRİŞ TİPİ	Dış Açıklık Kirişleri	İç Açıklık Kirişleri
	(lb/ft)	(lb/ft)
Uzun açıklık çatı kirişleri	462.36	924.84
Uzun açıklık kat kirişleri	671.16	1342.2
Kısa açıklık çatı kirişleri	379.44	758.76
Kısa açıklık kat kirişleri	550.68	1101.36

8.4.2 Rüzgar Yükleri

Yapının rüzgar yükleri ASCE 7-05 [ASCE, 2005] 'deki metot 2'ye göre Bölüm 5 'de anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Bu yükler çerçevenin her katında dış kirişlere rüzgar yönü cephesi ve rüzgar altı cephesi yönünde yerleştirilerek düzgün yayılı yanal yükler olarak uygulanmıştır. Temel rüzgar hızı 125 mph (200 kph) olarak alınmıştır. Yapının düz bir arazide inşa edildiği ve kategori B'ye maruz bırakıldığı kabul edilerek, şu parametre değerleri alınmıştır; x yönündeki rüzgarlar için $K_{zt}=1$, $K_d=0.85$, $I=1$, $G=0.85$, $C_{pw}=0.8$, $C_{pl}=-0.44$ ve y yönündeki rüzgarlar için $C_{pl}=-0.5$. Her kat seviyesinde hesaplanan rüzgar yükleri Tablo 8.3 den Tablo 8.8'e kadar verilmiştir.

Tablo 8.3 x yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (30-Katlı Modeller)

Kat	z	K _z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	217.44
2	24	0.66	182.37	217.44
3	36	0.74	204.77	217.44
4	48	0.80	222.31	217.44
5	60	0.85	236.94	217.44
6	72	0.90	249.61	217.44
7	84	0.94	260.85	217.44
8	96	0.98	271.00	217.44
9	108	1.01	280.27	217.44
10	120	1.04	288.84	217.44
11	132	1.07	296.81	217.44
12	144	1.10	304.28	217.44
13	156	1.12	311.32	217.44
14	168	1.15	317.98	217.44
15	180	1.17	324.31	217.44
16	192	1.19	330.35	217.44
17	204	1.21	336.12	217.44
18	216	1.23	341.65	217.44
19	228	1.25	346.97	217.44
20	240	1.27	352.09	217.44
21	252	1.29	357.04	217.44
22	264	1.30	361.81	217.44
23	276	1.32	366.44	217.44
24	288	1.34	370.92	217.44
25	300	1.35	375.27	217.44
26	312	1.37	379.50	217.44
27	324	1.38	383.62	217.44
28	336	1.40	387.62	217.44
29	348	1.41	391.53	217.44
30	360	1.42	197.67	108.72
TOPLAM			9,189.71	6,414.48

Tablo 8.4 x yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (20-Katlı Modeller)

Kat	z	K_z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	193.65
2	24	0.66	182.37	193.65
3	36	0.74	204.77	193.65
4	48	0.80	222.31	193.65
5	60	0.85	236.94	193.65
6	72	0.90	249.61	193.65
7	84	0.94	260.85	193.65
8	96	0.98	271.00	193.65
9	108	1.01	280.27	193.65
10	120	1.04	288.84	193.65
11	132	1.07	296.81	193.65
12	144	1.10	304.28	193.65
13	156	1.12	311.32	193.65
14	168	1.15	317.98	193.65
15	180	1.17	324.31	193.65
16	192	1.19	330.35	193.65
17	204	1.21	336.12	193.65
18	216	1.23	341.65	193.65
19	228	1.25	346.97	193.65
20	240	1.27	176.05	96.83
TOPLAM			5,442.25	3,776.18

Tablo 8.5 x yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (10-Katlı Modeller)

Kat	z	K_z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	158.86
2	24	0.66	182.37	158.86
3	36	0.74	204.77	158.86
4	48	0.80	222.31	158.86
5	60	0.85	236.94	158.86
6	72	0.90	249.61	158.86
7	84	0.94	260.85	158.86
8	96	0.98	271.00	158.86
9	108	1.01	280.27	158.86
10	120	1.04	144.42	79.43
TOPLAM			2,211.99	1,509.17

Tablo 8.6 y yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (30-Katlı Modeller)

Kat	z	K _z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	247.09
2	24	0.66	182.37	247.09
3	36	0.74	204.77	247.09
4	48	0.80	222.31	247.09
5	60	0.85	236.94	247.09
6	72	0.90	249.61	247.09
7	84	0.94	260.85	247.09
8	96	0.98	271.00	247.09
9	108	1.01	280.27	247.09
10	120	1.04	288.84	247.09
11	132	1.07	296.81	247.09
12	144	1.10	304.28	247.09
13	156	1.12	311.32	247.09
14	168	1.15	317.98	247.09
15	180	1.17	324.31	247.09
16	192	1.19	330.35	247.09
17	204	1.21	336.12	247.09
18	216	1.23	341.65	247.09
19	228	1.25	346.97	247.09
20	240	1.27	352.09	247.09
21	252	1.29	357.04	247.09
22	264	1.30	361.81	247.09
23	276	1.32	366.44	247.09
24	288	1.34	370.92	247.09
25	300	1.35	375.27	247.09
26	312	1.37	379.50	247.09
27	324	1.38	383.62	247.09
28	336	1.40	387.62	247.09
29	348	1.41	391.53	247.09
30	360	1.42	197.67	123.54
TOPLAM			9,189.71	7,289.15

Tablo 8.7 y yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (20-Katlı Modeller)

Kat	z	K_z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	220.06
2	24	0.66	182.37	220.06
3	36	0.74	204.77	220.06
4	48	0.80	222.31	220.06
5	60	0.85	236.94	220.06
6	72	0.90	249.61	220.06
7	84	0.94	260.85	220.06
8	96	0.98	271.00	220.06
9	108	1.01	280.27	220.06
10	120	1.04	288.84	220.06
11	132	1.07	296.81	220.06
12	144	1.10	304.28	220.06
13	156	1.12	311.32	220.06
14	168	1.15	317.98	220.06
15	180	1.17	324.31	220.06
16	192	1.19	330.35	220.06
17	204	1.21	336.12	220.06
18	216	1.23	341.65	220.06
19	228	1.25	346.97	220.06
20	240	1.27	176.05	110.03
TOPLAM			5,442.25	4,291.17

Tablo 8.8 y yönündeki rüzgarlar için rüzgar yükleri (10-Katlı Modeller)

Kat	z	K_z	Yayılı rüzgar yönü kuvveti (lb/ft)	Yayılı rüzgaraltı yönü kuvveti (lb/ft)
1	12	0.57	159.45	180.52
2	24	0.66	182.37	180.52
3	36	0.74	204.77	180.52
4	48	0.80	222.31	180.52
5	60	0.85	236.94	180.52
6	72	0.90	249.61	180.52
7	84	0.94	260.85	180.52
8	96	0.98	271.00	180.52
9	108	1.01	280.27	180.52
10	120	1.04	144.42	90.26
TOPLAM			2,211.99	1,1714.94

Rüzgar yönü tarafındaki K_z önceden belirtildiği şekilde hesaplanır. Kirişler üzerine gelen yükler üst ve alt kattan gelen yüklerin toplamı olduğundan ve Çatı katının üstünde herhangi bir kat olmadığı için çatı katındaki yayılı yükler 2 ‘ye bölünür.

Bu üç modelin her grup elemanları için belirlenen çelik kesitler Tablo 8.9 ‘den Tablo 8.14’e kadar görülebilir. Modellerinin optimum ağırlıkları Tablo 8.15 ‘de verilmiştir. Minimum ağırlığa sahip olan modeller 10, 20 ve 30 katlılar için sırasıyla model-G, model-E ve model-D ‘dir.

Stokastik optimizasyon tekniklerin doğasından dolayı her bir tasarım örneği 5 kere çözülmüş ve averaj performansları dikkate alınmıştır. Her model için maliyet hesabı yapılmıştır. Bu işlem önceki kısımlarda tanımlanmış olan formüllerle yapılmıştır. Hesaplamaların sonucu olarak minimum maliyete sahip olan modeller 10 ve 20 katlılar için model-L, 30 katlı yapılar için model-D olmuştur. Tüm modellerin maliyetleri Tablo 8.16, Tablo 8.17 ve Tablo 8.18 ‘de verilmiştir.

Tablo 8.9 10-Katlı Model-G için eleman gruplandırmasının detayları

GRUP NUMARASI	Eleman	Katlar	GRUP NUMARASI	Eleman	Katlar
1	İç Kirişler	1,2	19	XZ Dış Kolonlar	7,8
2	İç Kirişler	3,4	20	XZ Dış Kolonlar	9,10
3	İç Kirişler	5,6	21	YZ Dış Kolonlar	1,2
4	İç Kirişler	7,8	22	YZ Dış Kolonlar	3,4
5	İç Kirişler	9,10	23	YZ Dış Kolonlar	5,6
6	Dış Kirişler	1,2	24	YZ Dış Kolonlar	7,8
7	Dış Kirişler	3,4	25	YZ Dış Kolonlar	9,10
8	Dış Kirişler	5,6	26	İç Kolonlar	1,2
9	Dış Kirişler	7,8	27	İç Kolonlar	3,4
10	Dış Kirişler	9,10	28	İç Kolonlar	5,6
11	Köşe Kolonlar	1,2	29	İç Kolonlar	7,8
12	Köşe Kolonlar	3,4	30	İç Kolonlar	9,10
13	Köşe Kolonlar	5,6	31	Çaprazlar	1,2
14	Köşe Kolonlar	7,8	32	Çaprazlar	3,4
15	Köşe Kolonlar	9,10	33	Çaprazlar	5,6
16	XZ Dış Kolonlar	1,2	34	Çaprazlar	7,8
17	XZ Dış Kolonlar	3,4	35	Çaprazlar	9,10
18	XZ Dış Kolonlar	5,6			

Tablo 8.10 10-Katlı model-G için elik kesitler

GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)	GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)
1	W12X30	8.79	19	W18X40	11.8
2	W14X30	8.85	20	W8X21	6.16
3	W12X26	7.65	21	W14X99	29.1
4	W12X26	7.65	22	W24X84	24.7
5	W12X26	7.65	23	W14X68	20
6	W8X21	6.16	24	W10X49	14.4
7	W10X22	6.49	25	W12X45	13.1
8	W8X21	6.16	26	W21X166	48.8
9	W8X21	6.16	27	W24X104	30.6
10	W8X18	5.26	28	W12X72	21.1
11	W8X35	10.3	29	W21X50	14.7
12	W8X31	9.12	30	W8X31	9.12
13	W8X31	9.12	31	W8X24	7.08
14	W16X26	7.68	32	W6X15	4.45
15	W8X21	6.16	33	W8X31	9.12
16	W10X60	17.6	34	W8X31	9.12
17	W12X53	15.6	35	W8X31	9.12
18	W8X48	14.1			

Tablo 8.11 20-Katlı Model-E için eleman gruplandırmasının detayları

GRUP NUMARASI	ELEMAN	KATLAR	GRUP NUMARASI	ELEMAN	KATLAR
1	İç Kirişler	1,2	36	XZ Dış Kolonlar	11,12
2	İç Kirişler	3,4	37	XZ Dış Kolonlar	13,14
3	İç Kirişler	5,6	38	XZ Dış Kolonlar	15,16
4	İç Kirişler	7,8	39	XZ Dış Kolonlar	17,18
5	İç Kirişler	9,10	40	XZ Dış Kolonlar	19,20
6	İç Kirişler	11,12	41	YZ Dış Kolonlar	1,2
7	İç Kirişler	13,14	42	YZ Dış Kolonlar	3,4
8	İç Kirişler	15,16	43	YZ Dış Kolonlar	5,6
9	İç Kirişler	17,18	44	YZ Dış Kolonlar	7,8
10	İç Kirişler	19,20	45	YZ Dış Kolonlar	9,10
11	Dış Kirişler	1,2	46	YZ Dış Kolonlar	11,12
12	Dış Kirişler	3,4	47	YZ Dış Kolonlar	13,14
13	Dış Kirişler	5,6	48	YZ Dış Kolonlar	15,16
14	Dış Kirişler	7,8	49	YZ Dış Kolonlar	17,18
15	Dış Kirişler	9,10	50	YZ Dış Kolonlar	19,20
16	Dış Kirişler	11,12	51	İç Kolonlar	1,2
17	Dış Kirişler	13,14	52	İç Kolonlar	3,4
18	Dış Kirişler	15,16	53	İç Kolonlar	5,6
19	Dış Kirişler	17,18	54	İç Kolonlar	7,8
20	Dış Kirişler	19,20	55	İç Kolonlar	9,10
21	Köşe Kolonlar	1,2	56	İç Kolonlar	11,12
22	Köşe Kolonlar	3,4	57	İç Kolonlar	13,14
23	Köşe Kolonlar	5,6	58	İç Kolonlar	15,16
24	Köşe Kolonlar	7,8	59	İç Kolonlar	17,18
25	Köşe Kolonlar	9,10	60	İç Kolonlar	19,20
26	Köşe Kolonlar	11,12	61	Çaprazlar	1,2
27	Köşe Kolonlar	13,14	62	Çaprazlar	3,4
28	Köşe Kolonlar	15,16	63	Çaprazlar	5,6
29	Köşe Kolonlar	17,18	64	Çaprazlar	7,8
30	Köşe Kolonlar	19,20	65	Çaprazlar	9,10
31	XZ Dış Kolonlar	1,2	66	Çaprazlar	11,12
32	XZ Dış Kolonlar	3,4	67	Çaprazlar	13,14
33	XZ Dış Kolonlar	5,6	68	Çaprazlar	15,16
34	XZ Dış Kolonlar	7,8	69	Çaprazlar	17,18
35	XZ Dış Kolonlar	9,10	70	Çaprazlar	19,20

Tablo 8.12 20-Katlı model-E için çelik kesitler

GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)	GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)
1	W18X35	10.3	36	W14X193	56.8
2	W12X30	8.79	37	W14X145	42.7
3	W18X46	13.5	38	W14X120	35.3
4	W12X35	10.3	39	W10X60	17.6
5	W14X43	12.6	40	W8X48	14.1
6	W24X68	20.1	41	W27X281	82.9
7	W24X55	16.3	42	W14X176	51.8
8	W21X50	14.7	43	W10X112	32.9
9	W14X30	8.85	44	W12X106	31.2
10	W18X35	10.3	45	W18X97	28.5
11	W8X18	5.26	46	W24X117	34.4
12	W8X21	6.16	47	W24X117	34.4
13	W8X21	6.16	48	W30X90	26.4
14	W18X35	10.3	49	W10X60	17.6
15	W24X68	20.1	50	W10X49	14.4
16	W24X62	18.3	51	W33X387	114
17	W10X22	6.49	52	W40X324	95.3
18	W21X44	13	53	W18X211	62.1
19	W8X21	6.16	54	W14X193	56.8
20	W12X26	7.65	55	W27X217	64
21	W30X124	36.5	56	W24X131	38.5
22	W27X102	30	57	W30X108	31.7
23	W12X120	35.3	58	W30X108	31.7
24	W21X101	29.8	59	W16X40	11.8
25	W14X145	42.7	60	W8X24	7.08
26	W27X146	43.1	61	W8X31	9.12
27	W12X65	19.1	62	W10X33	9.71
28	W12X65	19.1	63	W8X31	9.12
29	W12X79	23.2	64	W8X31	9.12
30	W8X31	9.12	65	W8X28	8.24
31	W44X224	66.42	66	W6X20	5.89
32	W40X192	55.93	67	W8X21	6.16
33	W12X170	50	68	W6X20	5.89
34	W12X152	44.7	69	W6X15	4.45
35	W33X152	44.8	70	W4X13	3.83

Tablo 8.13 30-Katlı model-D için eleman gruplandırmasının detayları

GRUP NUMARASI	ELEMAN	KATLAR	GRUP NUMARASI	ELEMAN	KATLAR
1	İç Kirişler	1,2	54	XZ Dış Kolonlar	17,18
2	İç Kirişler	3,4	55	XZ Dış Kolonlar	19,20
3	İç Kirişler	5,6	56	XZ Dış Kolonlar	21,22
4	İç Kirişler	7,8	57	XZ Dış Kolonlar	23,24
5	İç Kirişler	9,10	58	XZ Dış Kolonlar	25,26
6	İç Kirişler	11,12	59	XZ Dış Kolonlar	27,28
7	İç Kirişler	13,14	60	XZ Dış Kolonlar	29,30
8	İç Kirişler	15,16	61	YZ Dış Kolonlar	1,2
9	İç Kirişler	17,18	62	YZ Dış Kolonlar	3,4
10	İç Kirişler	19,20	63	YZ Dış Kolonlar	5,6
11	İç Kirişler	21,22	64	YZ Dış Kolonlar	7,8
12	İç Kirişler	23,24	65	YZ Dış Kolonlar	9,10
13	İç Kirişler	25,26	66	YZ Dış Kolonlar	11,12
14	İç Kirişler	27,28	67	YZ Dış Kolonlar	13,14
15	İç Kirişler	29,30	68	YZ Dış Kolonlar	15,16
16	Dış Kirişler	1,2	69	YZ Dış Kolonlar	17,18
17	Dış Kirişler	3,4	70	YZ Dış Kolonlar	19,20
18	Dış Kirişler	5,6	71	YZ Dış Kolonlar	21,22
19	Dış Kirişler	7,8	72	YZ Dış Kolonlar	23,24
20	Dış Kirişler	9,10	73	YZ Dış Kolonlar	25,26
21	Dış Kirişler	11,12	74	YZ Dış Kolonlar	27,28
22	Dış Kirişler	13,14	75	YZ Dış Kolonlar	29,30
23	Dış Kirişler	15,16	76	İç Kolonlar	1,2
24	Dış Kirişler	17,18	77	İç Kolonlar	3,4
25	Dış Kirişler	19,20	78	İç Kolonlar	5,6
26	Dış Kirişler	21,22	79	İç Kolonlar	7,8
27	Dış Kirişler	23,24	80	İç Kolonlar	9,10
28	Dış Kirişler	25,26	81	İç Kolonlar	11,12
29	Dış Kirişler	27,28	82	İç Kolonlar	13,14
30	Dış Kirişler	29,30	83	İç Kolonlar	15,16
31	Köşe Kolonlar	1,2	84	İç Kolonlar	17,18
32	Köşe Kolonlar	3,4	85	İç Kolonlar	19,20
33	Köşe Kolonlar	5,6	86	İç Kolonlar	21,22
34	Köşe Kolonlar	7,8	87	İç Kolonlar	23,24
35	Köşe Kolonlar	9,10	88	İç Kolonlar	25,26
36	Köşe Kolonlar	11,12	89	İç Kolonlar	27,28
37	Köşe Kolonlar	13,14	90	İç Kolonlar	29,30
38	Köşe Kolonlar	15,16	91	Çaprazlar	1,2
39	Köşe Kolonlar	17,18	92	Çaprazlar	3,4
40	Köşe Kolonlar	19,20	93	Çaprazlar	5,6
41	Köşe Kolonlar	21,22	94	Çaprazlar	7,8
42	Köşe Kolonlar	23,24	95	Çaprazlar	9,10
43	Köşe Kolonlar	25,26	96	Çaprazlar	11,12
44	Köşe Kolonlar	27,28	97	Çaprazlar	13,14
45	Köşe Kolonlar	29,30	98	Çaprazlar	15,16
46	XZ Dış Kolonlar	1,2	99	Çaprazlar	17,18
47	XZ Dış Kolonlar	3,4	100	Çaprazlar	19,20
48	XZ Dış Kolonlar	5,6	101	Çaprazlar	21,22
49	XZ Dış Kolonlar	7,8	102	Çaprazlar	23,24
50	XZ Dış Kolonlar	9,10	103	Çaprazlar	25,26
51	XZ Dış Kolonlar	11,12	104	Çaprazlar	27,28
52	XZ Dış Kolonlar	13,14	105	Çaprazlar	29,30
53	XZ Dış Kolonlar	15,16			

Tablo 8.14 30-Katlı model-D için çelik kesitler

GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)	GRUP NUMARASI	KESİT	EN KESİT ALANI (in ²)
1	W24x62	18.3	54	W14x257	75.6
2	W18x35	10.3	55	W36x232	68.1
3	W14x38	11.2	56	W14x145	42.7
4	W14x43	12.6	57	W14x233	68.5
5	W21x62	18.3	58	W12x96	28.2
6	W40x249	73.3	59	W14x132	38.8
7	W16x36	10.6	60	W14x90	26.5
8	W30x108	31.7	61	W36x393	116
9	W21x50	14.7	62	W40x277	81.4
10	W24x55	16.3	63	W36x182	53.6
11	W16x40	11.8	64	W24x146	43
12	W30x116	34.2	65	W36x182	53.6
13	W18x35	10.3	66	W27x217	64
14	W33x118	34.7	67	W27x178	52.5
15	W14x30	8.85	68	W40x215	63.4
16	W10x22	6.49	69	W40x328	96.79
17	W21x44	13	70	W40x215	63.4
18	W12x26	7.65	71	W44x285	85.12
19	W30x90	26.4	72	W27x102	30
20	W33x118	34.7	73	W40x149	43.8
21	W30x90	26.4	74	W30x173	51
22	W36x135	39.7	75	W14x38	11.2
23	W21x62	18.3	76	W40x593	174
24	W14x34	10	77	W33x515	151
25	W44x198	58.38	78	W21x248	72.8
26	W24x62	18.3	79	W18x158	46.3
27	W24x62	18.3	80	W30x235	69.2
28	W21x44	13	81	W40x244	71.47
29	W30x90	26.4	82	W36x182	53.6
30	W8x18	5.26	83	W36x135	39.7
31	W40x328	96.79	84	W44x285	85.12
32	W40x362	107	85	W24x131	38.5
33	W40x480	140	86	W27x102	30
34	W33x468	137	87	W24x117	34.4
35	W30x581	170	88	W10x39	11.5
36	W14x398	117	89	W33x130	38.3
37	W14x370	109	90	W14x34	10
38	W33x354	104	91	W12x45	13.1
39	W12x152	44.7	92	W10x45	13.3
40	W24x131	38.5	93	W10x49	14.4
41	W14x120	35.3	94	W8x48	14.1
42	W14x159	46.7	95	W8x31	9.12
43	W14x109	32	96	W12x26	7.65
44	W14x99	29.1	97	W8x31	9.12
45	W8x35	10.3	98	W14x68	20
46	W33x354	104	99	W10x39	11.5
47	W14x370	109	100	W8x31	9.12
48	W40x328	96.79	101	W12x26	7.65
49	W24x335	98.4	102	W10x39	11.5
50	W40x298	87.8	103	W12x40	11.7
51	W36x720	211	104	W6x15	4.45
52	W27x336	98.9	105	W6x15	4.45
53	W36x300	88.3			

Tablo 8.15 Modellerin Optimum Ağırlıkları

Model	Ağırlık (lbs)	Model	Ağırlık (lbs)	Model	Ağırlık(lbs)
A10	324,359.70	A20	1,265,589.63	A30	3,400,000.00
B10	272,702.62	B20	998,232.87	B30	2,776,622.69
C10	286,375.54	C20	1,033,941.75	C30	2,823,142.45
D10	284,646.58	D20	997,485.34	D30	2,671,861.58
E10	264,378.75	E20	968,338.72	E30	2,723,415.28
F10	294,735.53	F20	1,082,734.07	F30	3,044,796.17
G10	256,364.87	G20	988,401.56	G30	2,784,166.67
H10	331,129.62	H20	1,512,742.91	H30	3,864,288.44
I10	328,862.27	I20	1,403,282.56	I30	3,705,856.27
J10	333,309.78	J20	1,550,934.86	J30	4,136,391.64
K10	291,845.03	K20	1,130,975.15	K30	3,360,367.92
L10	272,399.64	L20	1,078,923.83	L30	3,012,487.42
M10	305,280.04	M20	1,305,087.52	M30	3,608,887.99

Tablo 8.16 10-Katlı Modellerin Maliyetleri

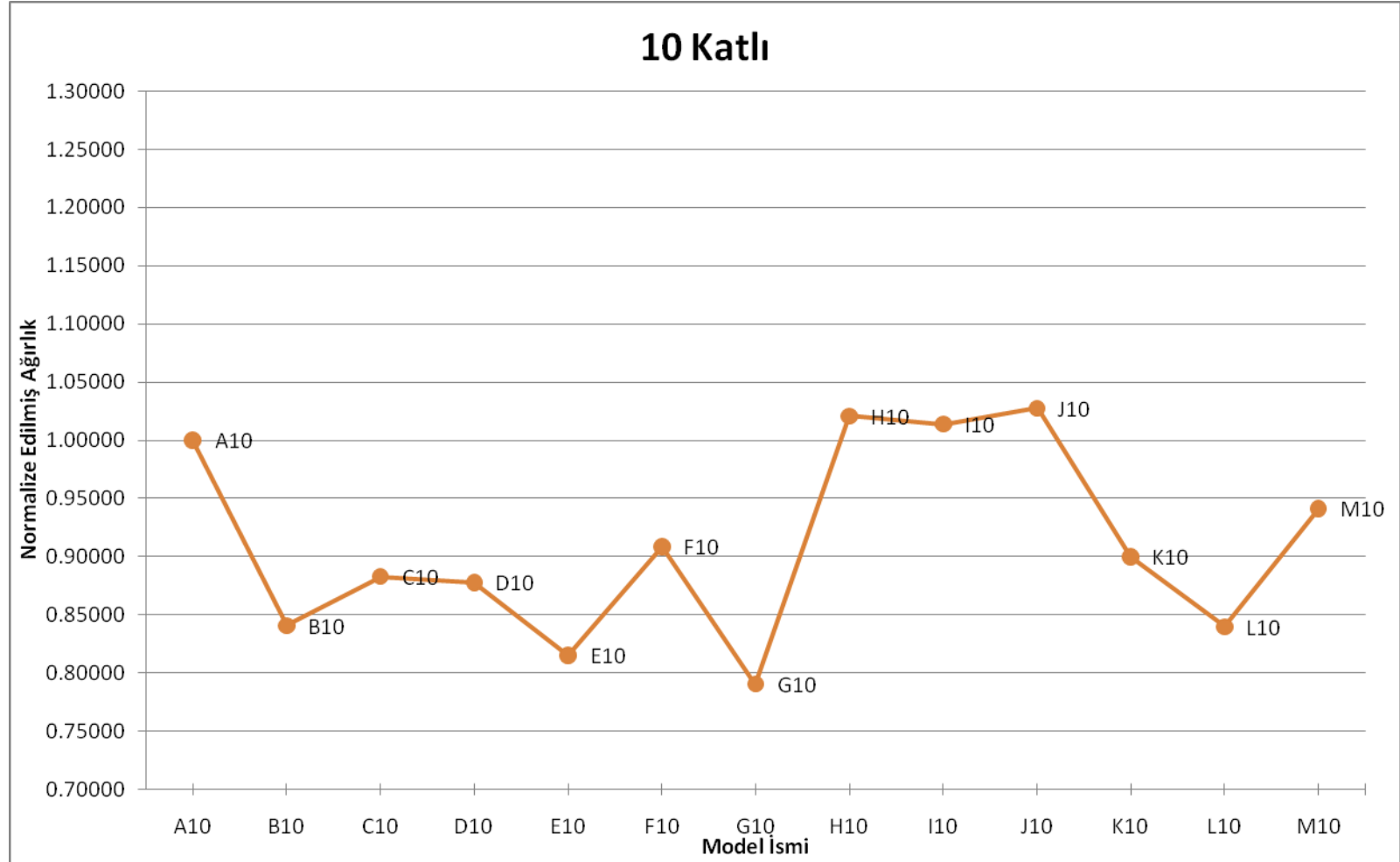
Model	Eleman Ağırlığı (kg)	Eleman Maliyeti (Euro)	Bağlantı Maliyeti (Euro)	Nakliye Maliyeti (Euro)	İnşaa Etme Maliyeti (Euro)	Ekstra Maliyeti (Euro)	Toplam Maliyet (Euro)
A-10	147,127.09	58,850.83	19,002.57	3,569.09	27,300.31	29,850.58	138,573.39
B-10	123,695.83	49,478.33	19,002.57	3,053.60	23,357.29	25,539.23	120,431.03
C-10	129,897.76	51,959.10	19,002.57	3,190.05	24,400.96	26,680.39	125,233.06
D-10	129,113.52	51,645.41	19,002.57	3,172.79	24,268.98	26,536.09	124,625.84
E-10	119,920.18	47,968.07	19,002.57	2,970.54	22,721.93	24,844.51	117,507.63
F-10	133,689.79	53,475.91	19,002.57	3,273.47	25,039.08	27,378.12	128,169.15
G-10	116,285.15	46,514.06	19,002.57	2,890.57	22,110.23	24,175.67	114,693.09
H-10	150,197.87	60,079.15	2,529.66	3,322.66	25,415.31	27,789.50	119,136.26
I-10	149,169.42	59,667.77	2,529.66	3,300.03	25,242.24	27,600.26	118,339.95
J-10	151,186.77	60,474.71	2,529.66	3,344.41	25,581.72	27,971.45	119,901.95
K-10	132,378.68	52,951.47	12,406.12	3,124.34	23,898.35	26,130.84	118,511.12
L-10	123,558.40	49,423.36	12,406.12	2,930.29	22,414.08	24,507.90	111,681.75
M-10	138,472.70	55,389.08	12,406.12	3,258.41	24,923.85	27,252.13	123,229.60

Tablo 8.17 20-Katlı Modellerin Maliyetleri

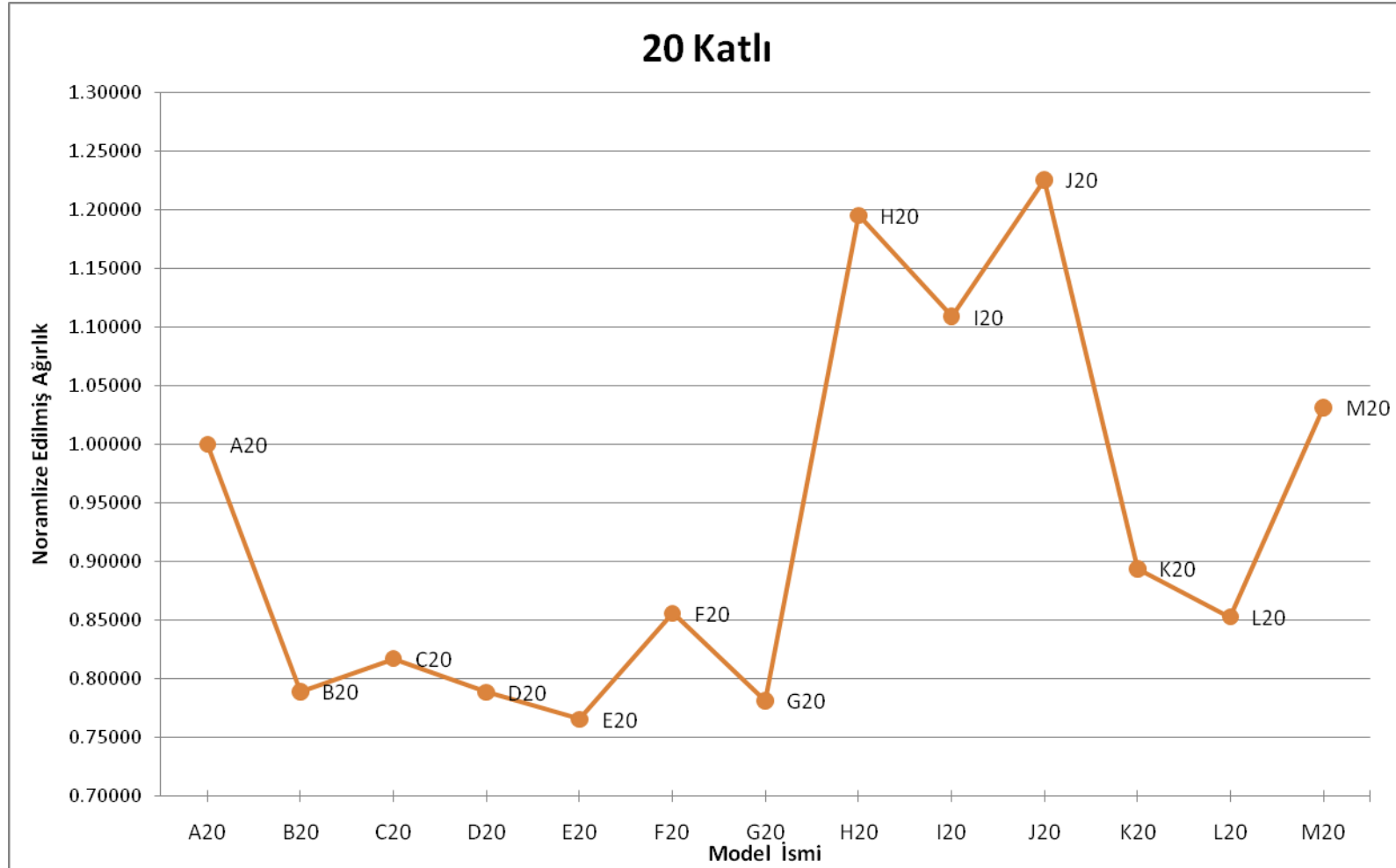
Model	Eleman Ağırlığı (kg)	Eleman Maliyeti (Euro)	Bağlantı Maliyeti (Euro)	Nakliye Maliyeti (Euro)	İnşaa Etme Maliyeti (Euro)	Ekstra Maliyeti (Euro)	Toplam Maliyet (Euro)
A-20	574,061.80	229,624.72	97,875.32	14,268.19	109,138.71	119,333.98	570,240.93
B-20	452,790.81	181,116.32	97,875.32	11,600.23	88,731.23	97,020.12	476,343.22
C-20	468,988.09	187,595.24	97,875.32	11,956.57	91,456.90	100,000.42	488,884.45
D-20	452,451.74	180,980.70	97,875.32	11,592.77	88,674.17	96,957.73	476,080.69
E-20	439,231.06	175,692.42	97,875.32	11,301.92	86,449.39	94,525.13	465,844.18
F-20	491,119.91	196,447.96	97,875.32	12,443.47	95,181.25	104,072.67	506,020.68
G-20	448,331.41	179,332.56	97,875.32	11,502.12	87,980.80	96,199.59	472,890.40
H-20	686,168.64	274,467.46	7,741.61	15,132.32	115,748.48	126,561.21	539,651.06
I-20	636,518.26	254,607.31	7,741.61	14,040.01	107,393.31	117,425.54	501,207.77
J-20	703,492.22	281,396.89	7,741.61	15,513.44	118,663.69	129,748.74	553,064.37
K-20	513,001.70	205,200.68	65,781.87	12,379.46	94,691.58	103,537.26	481,590.84
L-20	489,391.62	195,756.65	65,781.87	11,860.03	90,718.47	99,193.01	463,310.02
M-20	591,977.74	236,791.10	65,781.87	14,116.93	107,981.67	118,068.85	542,740.41

Tablo 8.18 30-Katlı Modellerin Maliyetleri

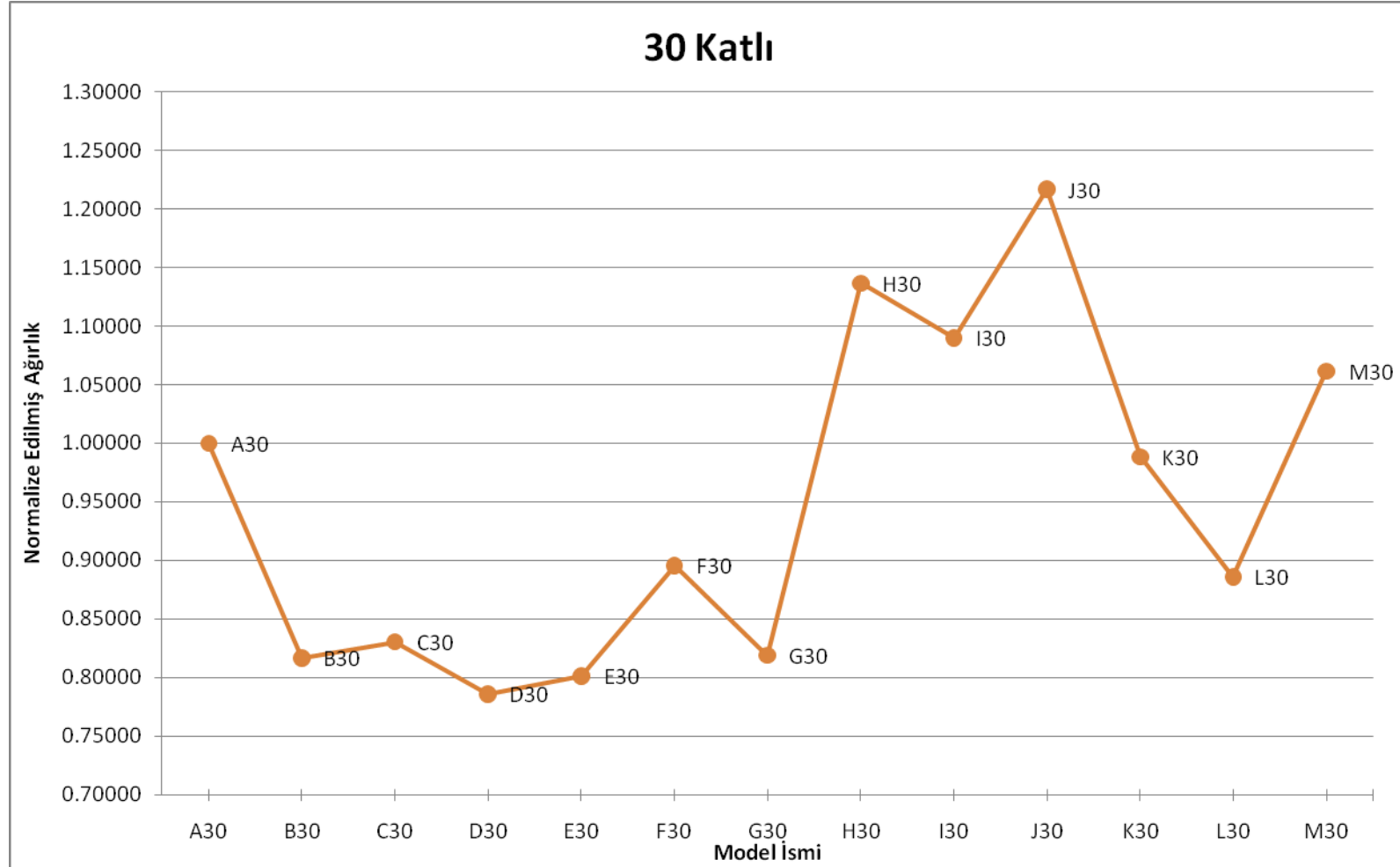
Model	Eleman Ağırlığı (kg)	Eleman Maliyeti (Euro)	Bağlantı Maliyeti (Euro)	Nakliye Maliyeti (Euro)	İnşaa Etme Maliyeti (Euro)	Ekstra Maliyeti (Euro)	Toplam Maliyet (Euro)
A-30	1,542,214.06	616,885.62	238,836.71	37,348.40	285,681.31	312,368.44	1,491,120.48
B-30	1,259,454.86	503,781.95	238,836.71	31,127.70	238,098.59	260,340.75	1,272,185.70
C-30	1,280,555.88	512,222.35	238,836.71	31,591.92	241,649.47	264,223.34	1,288,523.79
D-30	1,211,936.02	484,774.41	238,836.71	30,082.28	230,102.12	251,597.28	1,235,392.81
E-30	1,235,320.39	494,128.16	238,836.71	30,596.74	234,037.24	255,900.01	1,253,498.85
F-30	1,381,096.31	552,438.52	238,836.71	33,803.81	258,568.42	282,722.78	1,366,370.23
G-30	1,262,876.76	505,150.70	238,836.71	31,202.98	238,674.43	260,970.38	1,274,835.20
H-30	1,752,811.75	701,124.70	33,343.35	38,616.77	295,383.19	322,976.63	1,391,444.63
I-30	1,680,948.13	672,379.25	33,343.35	37,035.77	283,289.98	309,753.72	1,335,802.07
J-30	1,876,235.69	750,494.28	33,343.35	41,332.10	316,152.97	345,686.63	1,487,009.32
K-30	1,524,237.25	609,694.90	157,539.39	35,647.12	272,668.09	298,139.58	1,373,689.08
L-30	1,366,441.31	546,576.52	157,539.39	32,175.61	246,114.19	269,105.13	1,251,510.84
M-30	1,636,964.06	654,785.62	157,539.39	38,127.11	291,637.76	318,881.31	1,460,971.19



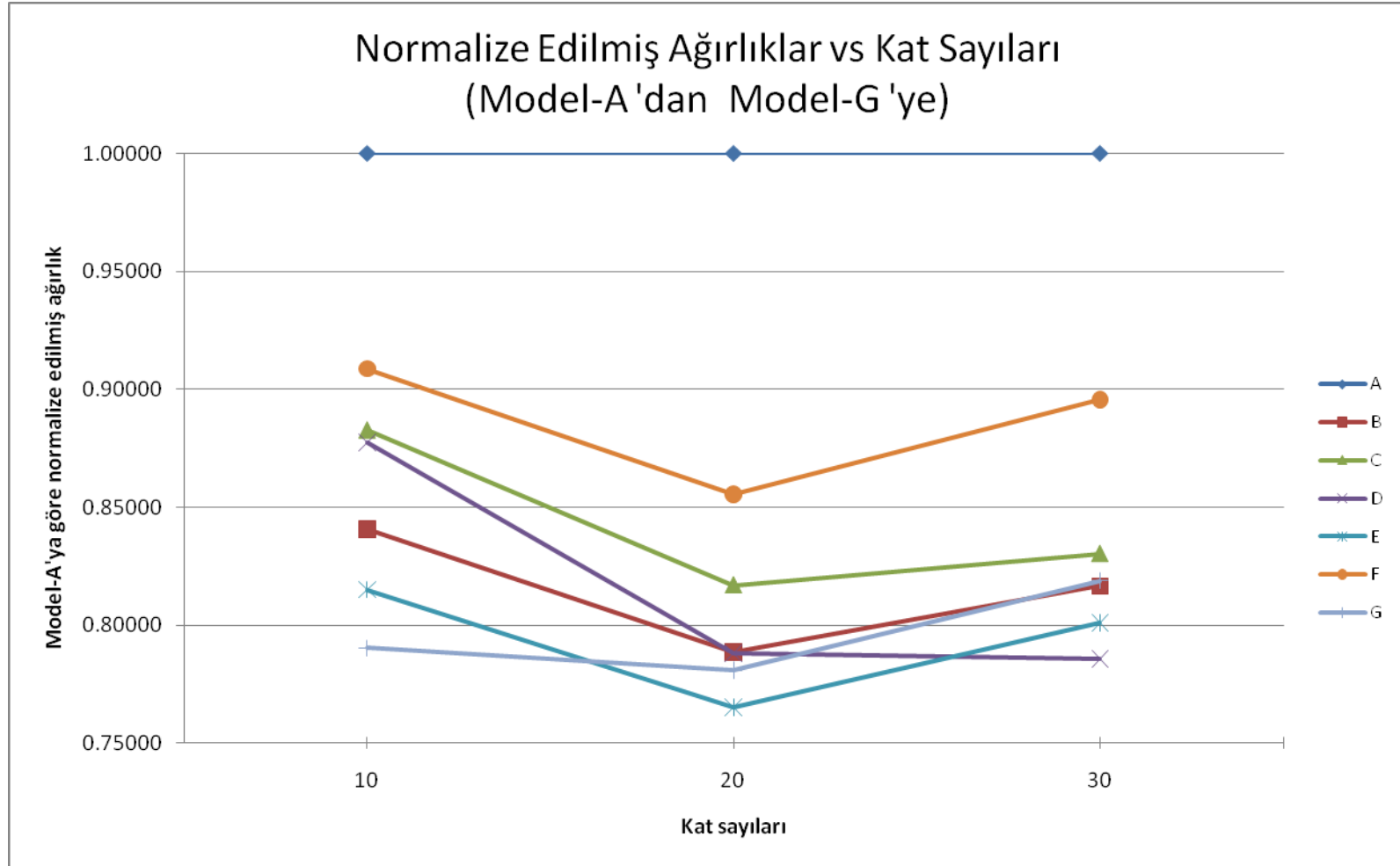
Şekil 8.19 Normalize Edilmiş Ağırlık vs. Model (10- Katlı)



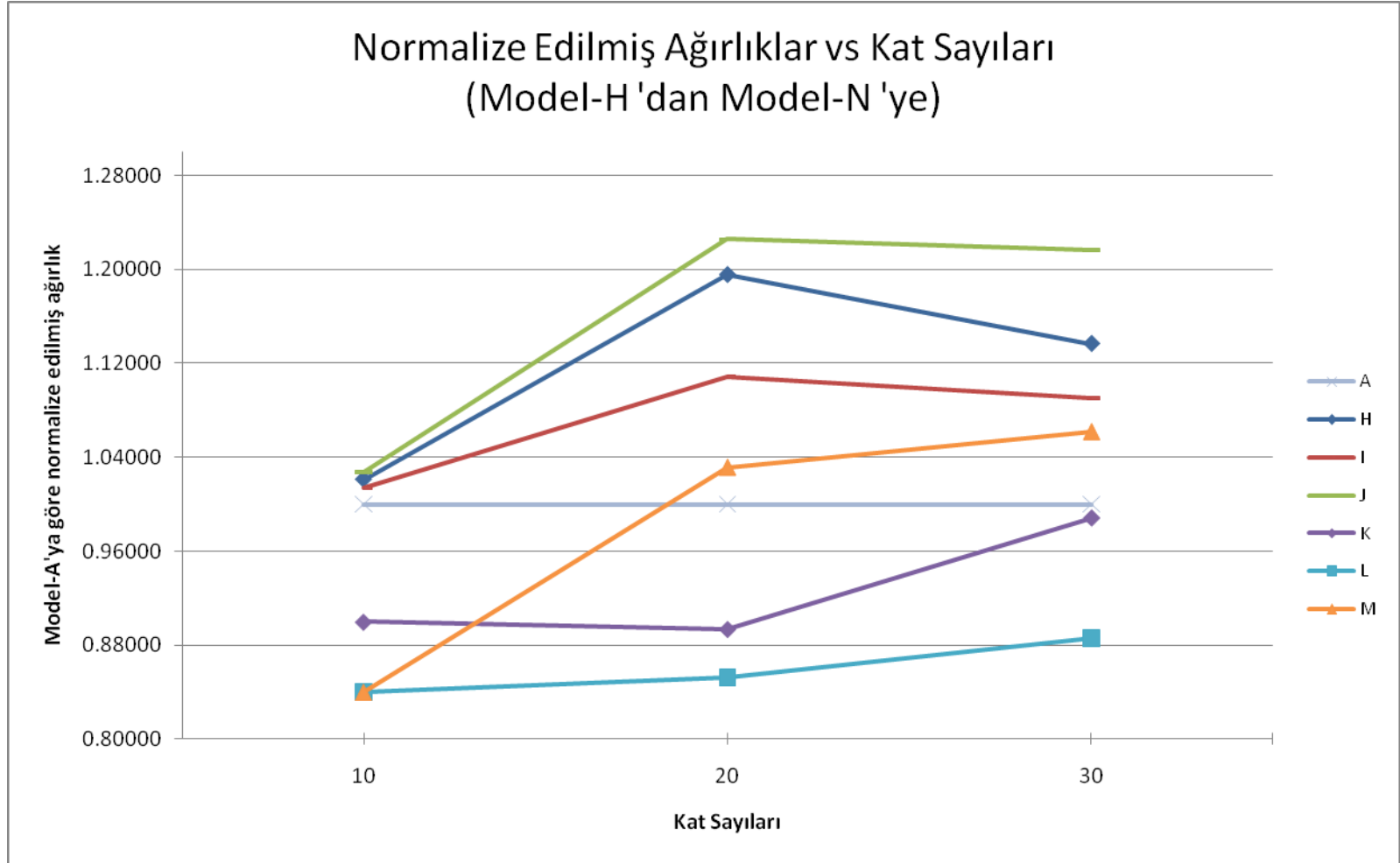
Şekil 8.20 Normalize Edilmiş Ağırlık vs. Model (20-Katlı)



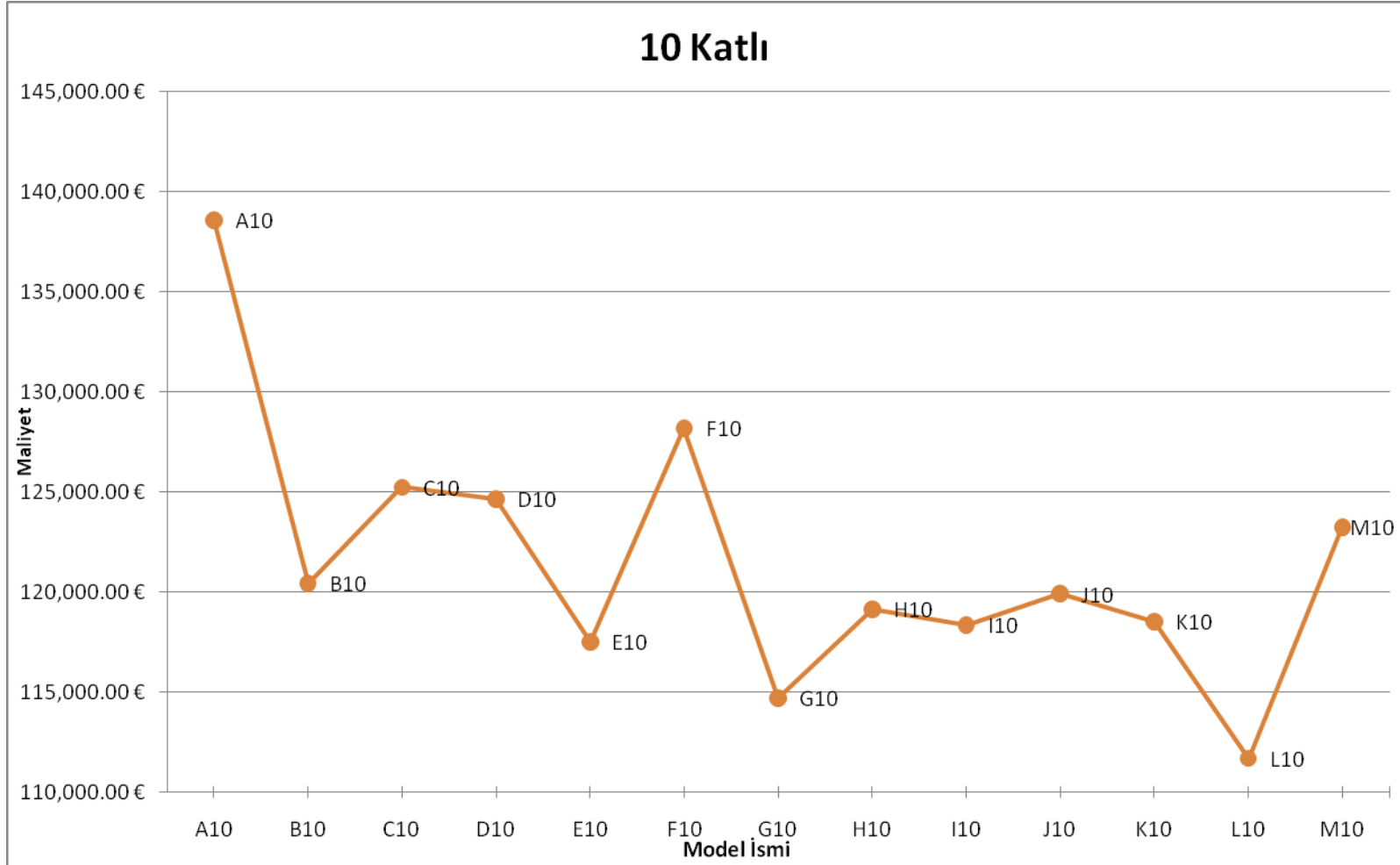
Şekil 8.21 Normalize Edilmiş Ağırlık vs. Model (30-Katlı)



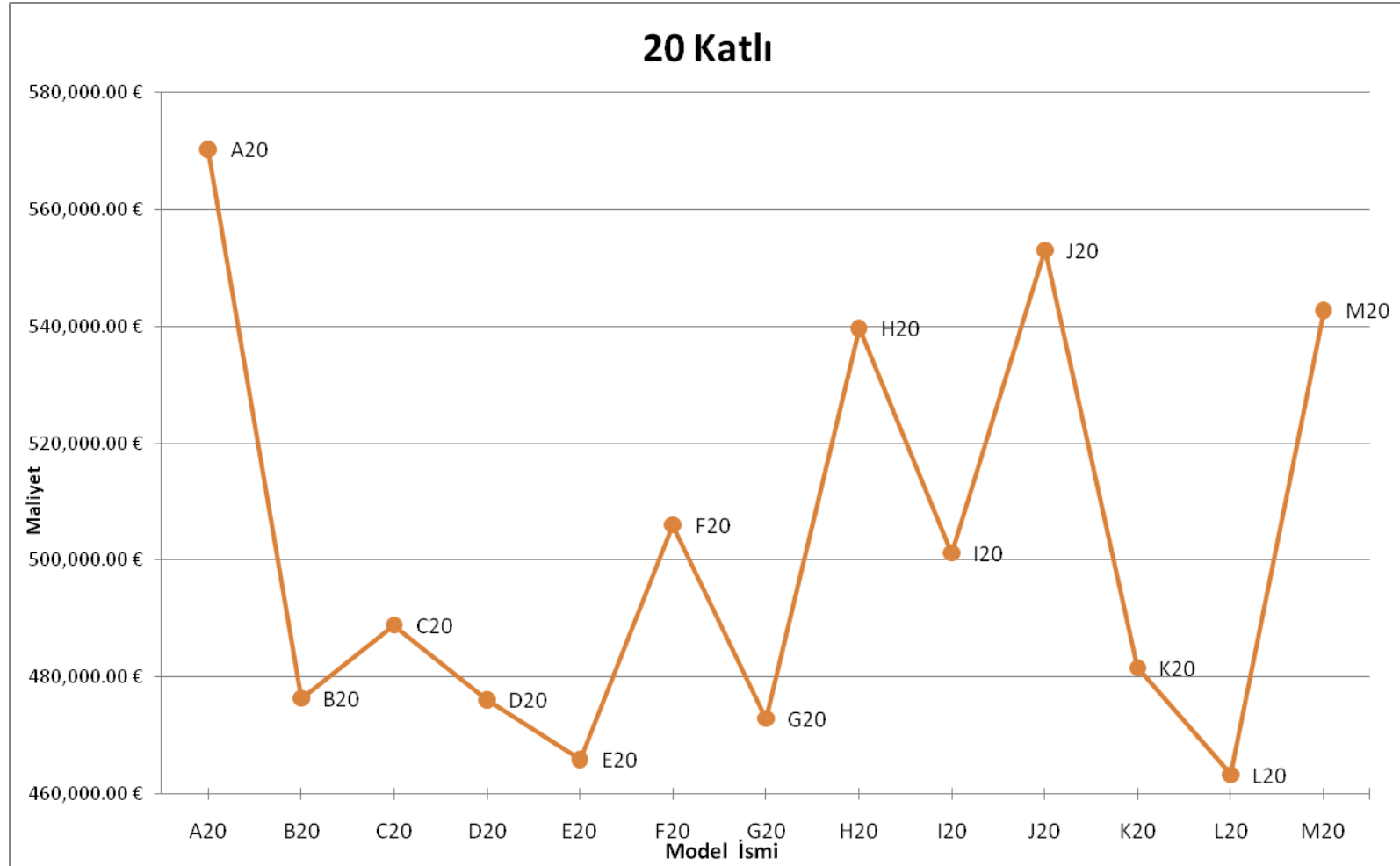
Şekil 8.22 Normalize Edilmiş Ağırlık vs. Kat Sayıları (Model-A 'dan Model-G 'ye)



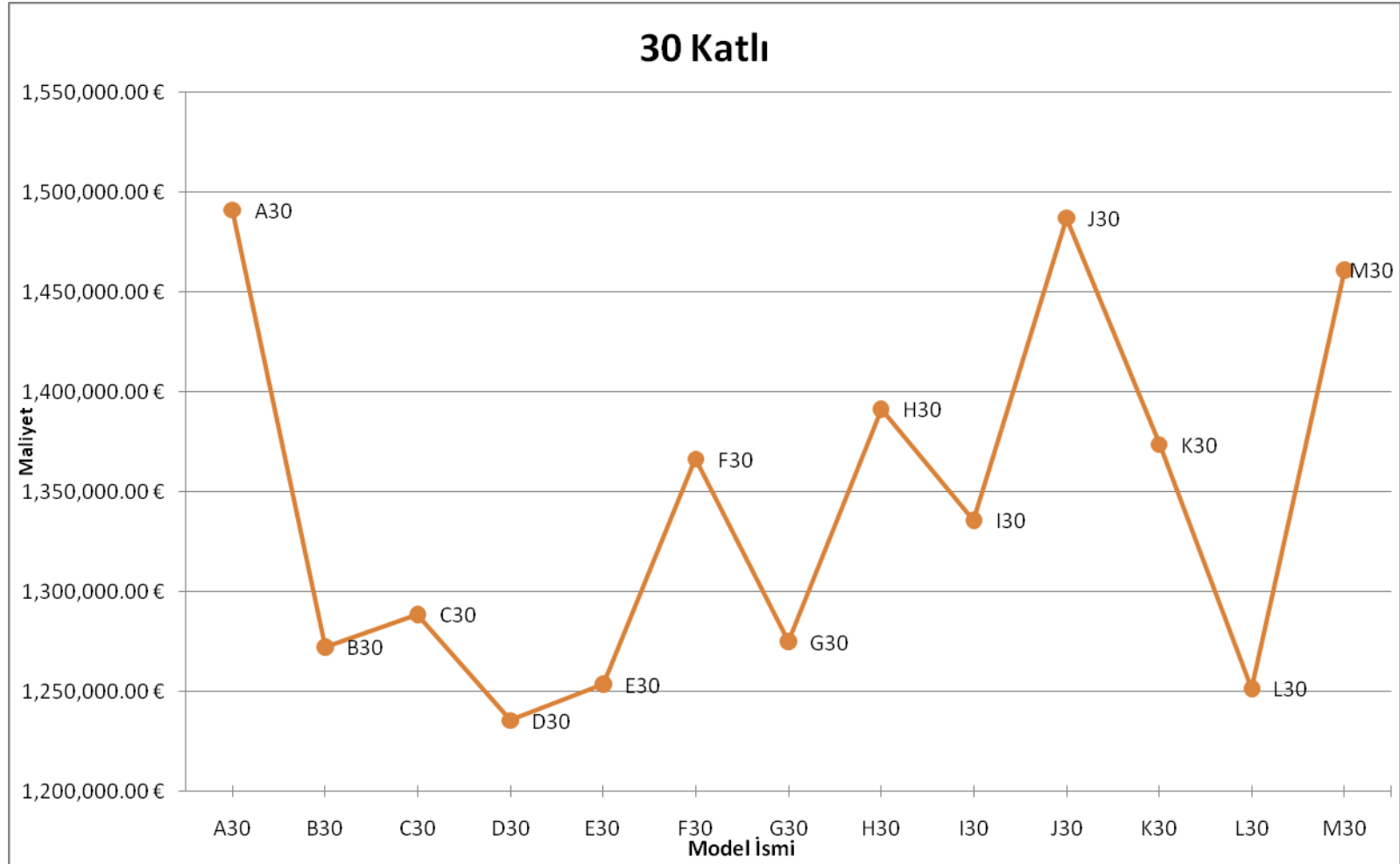
Şekil 8.23 Normalize Edilmiş Ağırlık vs. Kat Sayıları (Model-H 'dan Model-N 'ye)



Şekil 8.24 Modellerin Maliyetleri (10-Katlı)



Şekil 8.25 Modellerin Maliyetleri (20-Katlı)



Şekil 8.26 Modellerin Maliyetleri (30-Katlı)

8.5 SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Şekil 8.19 ‘dan Şekil 8.26 ‘ya kadar olan şekillerde modellerin maliyet analizlerinin ve ağırlık optimizasyonu problemlerinin sonuçları gösterilmiştir. Şekil 8.19 ‘dan Şekil 8.21 ‘e kadar olan şekillerde modellerin normalize edilmiş olan ağırlıkları verilmiştir. Normalize edilmiş ağırlıklar belirli bir modelin ağırlığının aynı kat sayısına sahip olan model-A ‘nın ağırlığına bölünmesiyle elde edilmiş olan ağırlıklardır.

Şekil 8.22 ve Şekil 8.23 modelin normalize edilmiş ağırlığının yapının yüksekliği ile nasıl değiştiğini gösterir. Bu şekillerle, yapının yüksekliğine bağlı olarak modellerin performanslarının artıp yâda azaldığını tahmin etmek kolaylaşır.

Şekil 8.24, Şekil 8.25 ve Şekil 8.26 ‘da yapıların maliyet analiz değerleri gösterilmiştir.

Çıktılara bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir (yapılar sahip oldukları çapraz modellerine göre isimlendirilmişlerdir):

. 10-Katlı Yapılar için (Şekil 8.19 ve Şekil 8.20)

- En hafif model, model-G ve en ağır model, model-J ‘dir.
- En iyi çapraz modeli, model-L ‘dir. En az ağırlığa sahip olmamasına rağmen 10-katlı yapılar arasında en ucuz olanıdır.
- Alçak yükseklikli yapılar için rijit kiriş-kolon bağlantısı kullanmaya gerek yoktur. Bu tip modeller pahalı çerçevelerdir.
- 10-katlı modellerde çapraz modeli seçmenin önemi çok ciddi değildir. Maliyetlerdeki dalgalanmalar 20-katlı ve 30-katlı yapılarla karşılaştırıldıklarında oldukça küçüktür.
- Model-B ‘den model-G ‘ye kadar ağırlıklar model-A ‘nın ağırlığından azdır (çaprazsız). Bu modeller rijit bağlantılı oldukları için ve çaprazlara sahip oldukları için bu beklenen bir sonuçtur.

- Mafsallı modeller için model-K, model-L ve model-M, model-A ‘dan daha hafiftir. Geriye kalan modellerin hepsi model-A ‘dan ağırdır.
- Alçak yükseklikli yapılar için dış destek kirişlerine gerek yoktur. Şekil 8.19 ‘da görüldüğü gibi model-B ağırlık yönünden model-C ve model-d ‘den daha iyi sonuç vermektedir. Dış destek kirişi yapıya ekstra ağırlık yapar.

. 20-Katlı Yapılar için (Şekil 8.20 ve Şekil 8.25)

- En az ağırlığa sahip olan model, model-E ‘dir ve en ağır model, model-J ‘dir.
- 20-katlı yapılar içinde ağırlık sıralamasında altıncı olmasına rağmen en ucuz çerçeve model-L ‘dir.
- Yapı yüksekliği arttığında diğer modellere nispeten rijit kiriş-kolon bağlantılarına sahip olan modellerin maliyeti düşer.
- Model-B ‘den model-G ‘ye tüm ağırlıklar model-A ‘nın ağırlığından azdır (çaprazsız). Bu modeller rijit bağlantılı oldukları ve çaprazlı oldukları için bu beklenen bir sonuçtur.
- Mafsallı modellerde sadece model-K ve model-L, model-A ‘dan daha hafiftir. Geriye kalan modeller model-A ‘dan ağırdırlar.

. 30-Katlı Yapılar için (Şekil 8.21 ve Şekil 8.26)

- En az ağırlığa sahip olan model, model-F ‘dir ve en ağır model, model-J ‘dir.
- 30-katlı yapılar içinde en ucuz çerçeve model-D ‘dir. Bu yapı yüksekliği artınca rijit kiriş-kolon bağlantılarının ne kadar önemli olduğunu gösterir.

- Model-B ‘den model-G ‘ye tüm ağırlıklar model-A ‘nın ağırlığından azdır (çaprazsız). Bu modeller rijit bağlantılı oldukları ve çaprazlı oldukları için bu beklenen bir sonuçtur.
- Geri kalan modeller (model-H ‘dan model-M ‘ye kadar) model-A ‘dan ağırdır. Buda beklenildiği üzere mafsal bağlantılı yapıların rijit bağlantılılara göre daha az yanal stabiliteye sahip olduklarını gösterir.
- Şekil 8.21 ‘de görüldüğü gibi model-B ve model-C benzer ağırlıklara sahiptirler fakat model-D bu ikisinden de daha hafiftir. Bunun sebebi dış destek kirişleri kullanıldığı zaman yapının yanal stabilitesinin artmasıdır. Fakat model-D ‘nin model-C ‘den daha hafif olmasının nedeni dış desteklerin optimum yerlerinin en üst kat yerine orta katta olması şeklinde açıklanabilir.

. Genel sonuçlar:

- Çaprazlı rijit bağlantılı çerçevelerin hepsi çaprazsız olanlardan daha ağırdır (model-A). Bu beklenen bir sonuçtur.
- Model-F iyi sonuç vermemiştir. Rijit bağlantılı modeller arasında en kötü model olmuştur. Dirsek tipi çaprazların iyi performansa sahip olmadıkları bilinmektedir. Nadiren işe yarar sınırlayıcılar olarak kullanılırlar.
- Model-D ‘nin performansı (dış destekler orta yükseklikte) yapı yüksekliğine bağlı olarak önemli derecede artar. 30-katlı modeller içinde en ekonomik olanı bu modeldir.
- Model-E her zaman model-B ‘den daha iyidir. Bu, orta açıklık K tipi iskelet ile desteklendiği zaman orta kirişin etkili uzunluğunun azalması ile izah edilebilir. Bu daha rijit elemanların oluşmasına yol açar.
- En hafif olan yapı en ucuz yapı değildir. 20-katlı modeller arasında model-L rijit bağlantılı modeller arasında hemen hemen en ağır olmasına rağmen en ekonomik olanıdır.

- Yapı ağırlığı yapı maliyetini gösterir ifadesi %100 doğru değildir. Bu çalışma daha ağır olan modellerin daha ekonomik olduğunu göstermiştir.
- Önceden de belirtildiği gibi bu çalışmada 4 farklı yapı tipi kullanılmıştır. Bunlar; moment dirençli kiriş-kolon bağlantıları (Tip 1 – model-A), moment dirençli çaprazlı çerçeveler (Tip 2 – model-B ‘den model-G ‘ye kadar), mafsal bağlantılı çaprazlı çerçeveler (Tip 3 – model-H ‘den model-J ‘ye kadar), ve hem mafsal bağlantılı hem de moment dirençli çaprazlı çerçeveler (Tip 4 – model-K ‘dan model-M ‘ye kadar).Her tipten 3 farklı çaprazlama modeli şu şekilde seçilmiştir;
 - o Tip 2 ‘den: model-B, model-E ve model-F
 - o Tip 3 ‘den: model-H, model-I ve model-J
 - o Tip 4 ‘den: model-K, model-L ve model-M

Bunların ortalama ağırlıkları hesaplanmıştır. Yapı yüksekliği arttıkça rijit kiriş-kolon bağlantılarına sahip olan modellerin performanslarının arttığı açıkça görülmektedir.

8.6 SONUÇLAR VE ÖZET

Yapıların tasarımı zor bir görev olduğu için tasarımcıların hepsi kusursuz veya optimum tasarım yapamayabilir. Bunun sonucunda umulandan daha büyük kesitler kullanıldığı için ekonomik olmayan yapılar ortaya çıkar. Tasarım işleminin en önemli noktası ekonomi olduğundan tasarımcılar daha ekonomik tasarımlar yapmak için bazı yollar bulmalıdırlar. Bu sadece bazı optimizasyon teknikleri kullanmayla mümkün olur.

AES ‘in ana çıkış noktası gerçel değerli parametrelere sahip olan problemleri çözmektir. Bir müddet sonra AES ayırık parametrelere sahip problemleri çözmek için geliştirildi. Yapısal tasarım problemi için sonsuz sayıda eleman ve tasarımcının seçim yapacağı çelik kesitler kümesi vardır. Bu ayırık parametrelere sahip problemlere tipik bir örnektir.

Bu çalışmanın amacı rüzgar yüklerine maruz bırakılmış çelik yapıların yanal çaprazlama modellerinin optimum konfigürasyonunu kararlaştırmaktır. Bu amaçla üç farklı yapı (10, 20 ve 30 katlı) hazırlanmıştır ve optimum tasarımları 12 farklı çapraz modeli ile analiz edilmiştir.

Rüzgâr hızı 125 mph olarak kabul edilmiştir ve yanal yük olarak sadece rüzgâr yükü alınmıştır. Deprem yükü gibi diğer tip yüklemelere sahip olma durumu modellerin performanslarını çok az miktarda değiştirmiştir. Tüm tasarım örneklerinde çeliğin malzeme özelliği olarak; elastisite modülü (E)=29000ksi (203893,6 MPa) ve akma gerilmesi (F_y)=36ksi (253.1 MPa) alınmıştır.

Sonuçların genel değerlendirmesi olarak;

- Çaprazlar her zaman ağırlığı düşürürler,
- Yüksekliği düşük olan yapılarda rijit bağlantılar kullanmaya gerek yoktur,
- Yüksekliği düşük olan yapılarda çapraz seçimi çok önemli değildir,
- Yüksekliği düşük olan modellerde dış destek kirişi kullanmaya gerek yoktur,
- Z-tipi çaprazlar düşük yükseklikli yapılarda daha çok uygulanabilir,
- Ağırlığı fazla olan modeller daha düşük maliyete sahip olabilirler. Buna örnek olarak L-20 modeli verilebilir.
- Mafsal bağlantılı yapılar rijit bağlantılı olanlara göre daha ağırdır.
- Rijit bağlantıların önemi yapı yüksekliği ile artar,
- Dirsek tipi çaprazlar iyi sonuç vermezler. Bu çapraz modelleri sadece boşluk sınırlandırması olan durumlarda kullanılmıştır.

denilebilir.

Bölüm 8.2 'de yanal kuvvet direnç sistemleri açıklanmıştır. Çaprazların yapılarda kullanılma sebepleri verilmiştir. Daha sonra literatür de bulunan çapraz modellerine değinilmiştir. Bu çalışmada başlıca 4 tip sistem kullanılmıştır; (i) moment dirençli kiriş-kolon bağlantıları, (ii) moment-direnç bağlantılı çaprazlı çerçeveler, (iii) mafsal bağlantılı çaprazlı çerçeveler ve (iv) hem mafsal bağlantılı hem de moment-direnç bağlantılı çaprazlı çerçeveler. X-tipi, Z-tipi, K-tipi gibi farklı çapraz düzenlemelerine sahip bu sistemler üzerinde çalışılmıştır.

Bölüm 8.3 'de çelik çerçevelerin maliyet analizleri tarif edilmiştir. Birçok durumda en iyi tasarım ağırlığına sahip olan yapı en ekonomik olanıymış gibi davranılır. Fakat bu sadece minimum ağırlığın mantıklı şekilde tüm maliyeti düşüreceğini varsayan bir kabuldür. Bağlantı maliyetleri gibi diğer maliyetler yapıdan yapıya toplam maliyeti önemli şekilde etkileyecek

şekilde farklılık gösterebilir. Bu bölümde yapının maliyeti beş parçaya bölünmüştür. Bunlar yapı elemanlarının toplam maliyetleri, bağlantıların toplam malzeme ve üretim maliyetleri, toplam nakliye maliyetleri, toplam yapım maliyetleri ve ekstra maliyetlerdir. Yapının maliyeti bu dört maliyetin toplamı olarak tanımlanabilir.

Bölüm 8.4 'de yapısal modellerin detayları verilmiştir. 10, 20 ve 30 kata sahip üç farklı yapı düşünülmüştür ve belirlenen tüm çapraz modelleri bu yapılara uygulanmıştır. Yapı elemanları, iç kirişler, dış kirişler, köşe kolonlar, x-z yönündeki dış kolonlar, y-z yönündeki dış kolonlar, iç kolonlar ve çapraz elemanlar olarak gruplandırılmıştır. İki yük durumu vardır. İlk yük durumunda yükler rüzgar yükleri ile birlikte x eksenini boyunca uygulanmıştır, ikincisinde ise rüzgar yükleri ile birlikte y eksenini boyunca uygulanmıştır.

Bölüm 8.5 'de değerlendirmeler verilmiştir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu projede gerekli literatür taraması ve bunu takiben konular üzerinde detaylı incelemeler yapılmış olup yedi adet (tabu arama, karınca kolonisi optimizasyonu, ayrık evrimsel stratejiler, partikül küme optimizasyonu, benzetimli tavlama, harmoni arama ve genetik algoritmalar) teknik temel alınarak çalışan yedi farklı bilgisayar algoritması geliştirilmiştir. Programların performanslarını test etmek amacıyla gerçek boyutlu optimizasyon problemleri çözülmüş ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak gerçek hayata uygulanabilirliği gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde her yedi tekniğin matematiksel algoritmaları belirlenmiştir. Bu algoritmalar doğrultusunda Borland Delphi programlama dili kullanılarak OFSA, HSO, SGA, TSO, ACO, ES ve PSO adında yedi adet bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bu proje kapsamında optimum boyutlandırma probleminin matematiksel modellenmesi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Oluşturulacak matematiksel modelin TS648 ve AISC-ASD şartnamelerine uygunlukları belirtilmiştir. Buna ilaveten detaylı olarak amaç fonksiyonundan bahsedilmiştir. Ayrıca modellemede kullanılan sınırlayıcılar; eğilme ve eksenel gerilme sınırlayıcıları, narinlik sınırlayıcıları, deplasman ve rölatif öteleme sınırlayıcıları, kesme gerilmesi sınırlayıcıları ve uygunluk sınırlayıcıları, formüllerle detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Geliştirilen optimizasyon tekniklerinin etkinlikleri detaylı bir şekilde tanımlanan iki ve üç boyutlu gerçek nitelikli tasarım örnekleri ile ispatlanmış, elde edilen sonuçlar detaylıca verilmiştir. Tasarım örneği olarak; 224 elemanlı düzlem çelik çerçeve, 325 elemanlı uzay çelik çerçeve ve 568 elemanlı uzay çelik çerçeve seçilerek bu yapılar üzerine etki ettirilen yükler ve bu yüklerin detayları anlatılmıştır. İlk tasarım örneği olan 224 elemanlı düzlem çelik çerçeveye şartnamelere uygun olarak ölü, kar ve rüzgar yükleri uygulanmış ve bu çerçevenin oluşturulan algoritmalar ile çözümünden elde edilen sonuçlara göre en iyi tasarım ağırlığı Benzetimli Tavlama yöntemi kullanılarak elde edilirken en kötü sonuç ise Harmoni Arama metodu ile bulunmuştur. Ayrıca bu örnek için yedi algoritma ile yapılan analizlerin tasarım geçmişi grafiklerine bakıldığında en iyi yakınsamanın beklenildiği gibi

Benzetimli Tavlama ile elde edildiği görülmektedir. İkinci tasarım örneği olan 325 elemanlı 5 katlı uzay çelik çerçeve ise şartnamelerde yer alan ölü, kar ve hareketli yüklerin yanı sıra daha gerçekçi olunabilmesi için her katın ağırlık merkezine uygulanan deprem yüklerine maruz bırakılmıştır. Bu uzay çerçeve için elde edilen algoritma sonuçları incelendiği zaman en iyi tasarım ağırlığını Ayrık Evrimsel Stratejiler yönteminin verdiği görülmektedir. İlk tasarım örneğinde en iyi sonucu veren Benzetimli Tavlama yöntemi bu örnek için en iyi ikinci sonucu vermiştir. Bu örnekte en kötü sonuç ise Genetik Algoritmalar ile yapılan analizden elde edilmiştir. Yine bu örnekte de algoritmaların optimum sonuca nasıl yakınsadıkları tasarım geçmişi grafiğinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Son tasarım örneği olan 568 elemanlı 10 katlı uzay çelik çerçevede ise yüklemeyi döşeme, rüzgar ve kar yükünden oluşan bir kombinasyon oluşturmaktadır. Bu örnekte de en hafif tasarımı Ayrık Evrimsel Stratejiler metodu verirken en iyi ikinci tasarım ağırlığı ise Tabu Arama yöntemi ile elde edilmiştir. İlk iki tasarım örneğinde sırasıyla bir ve ikinci en iyi ağırlıkları bulan Benzetimli Tavlama yöntemi son örnekte ise en iyi üçüncü tasarım ağırlığını bulmuştur. Bu örneğin en ağır tasarımı ise ilk örnekte olduğu gibi Harmoni Arama metodu ile yapılan analiz sonucu bulunmuştur.

Bu proje kapsamında, sezgiye dayalı arama tekniklerinin kullanımına bağlı olan ve genellikle optimum tasarıma ulaşmak için yüksek miktarda yapısal analiz gerektiren büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümünde zamandan tasarruf sağlanmaya yönelik ciddi olanaklar sunan Paralel Hesaplama yönteminin uygulaması da yapılmıştır. Bu çalışmada yüksek katlı çelik yapıların boyutlandırılması amacıyla ayrık evrimsel stratejiler metoduyla eşleştirilen bir paralel optimizasyon algoritması sunulmuştur. Nihai algoritma gerçek yükleme ve tasarım sınırlayıcılarına bağlı kalınarak elde edilen üç adet örneğe uygulanmıştır. Sonuçlar dikkate alındığında 32 işlemciden oluşan hesaplama sistemi kullanılarak çözülen bu örnekler için 12.2 ile 16.8 oranları arasında değişen miktarlarda bir hızlanma elde edildiği görülmüştür. Ayrıca iletişim problemlerinin toplam işlem süresindeki etkisinin azaldığının gösterilmesiyle birlikte, tasarım örneklerinin boyutundaki büyüme ile orantılı olarak paralelizmin getirilerinde de artış meydana geleceği farkedilmiştir. İkinci ve üçüncü örneklerin paralel hesaplama performansında hiçbir azalma işaretine rastlanmamıştır. Bu örnekler için, daha geniş bir işlemci kümesinin kullanımıyla birlikte daha yüksek ölçeklenebilirlik elde edilebileceği de anlaşılmaktadır. Fakat bunun aksine, ilk örnekte 16 işlemciden sonra performansta düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum toplam işlem süresinin her bir bilgisayar tarafından sıralı olarak

yapılması gereken disk okuma ve yazma aşamaları tarafından kontrol edildiği, göreceli olarak kısa hesaplanma süresine sahip olan küçük problemlerde görülmüştür. Dolayısıyla, sistem performansını yükseltmek için kümedeki bilgisayar sayısını artırmak daha yerinde bir çözümdür. Son olarak bu çalışmada uygulanan ayırık evrimsel stratejiler yönteminin büyük ölçülü yapı problemlerinin optimum tasarımı için oldukça etkili ve güçlü bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Birinci ve ikinci tasarım örneklerindeki problem boyutlarının büyüklüğüne rağmen algoritma, iterasyonların başlangıcından optimum tasarım elde edilmesine doğru hızlı ve doğrusal bir yakınsama göstermiştir. Bu davranış son örnekte problemin aşırı büyük boyutları nedeniyle yer değiştirmiş ve diğerlerine nazaran daha yavaş bir yakınsama izlenmiştir. Buna rağmen, ağırlık yerel optimumda çok uzun süreli olarak takılmadan işlem süreci içinde durağan bir şekilde azalmıştır.

Kolon oryantasyonlarının uygun bir şekilde seçilmesinin çelik çerçevelerin minimum ağırlık tasarımı üzerindeki etkisi yine bu projede detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Ayırık Evrimsel Stratejiler yöntemi çelik yapıların boyut optimizasyonu için bir araç olarak kullanılmıştır. Buna ilaveten, tasarım yönetmeliklerinde belirtilen sınırlandırmalar ve şartlar altında yapının ağırlığında daha fazla düşüş sağlanması için boyut optimizasyonu ile oryantasyon optimizasyonu birleştirilmiştir. Kolonların eleman oryantasyonları ve boyutlandırması optimizasyon işleminin ana kısmı olarak düşünülebilir. Kolon elemanlar genellikle mimari, pratik ve fabrikasyon gereksinimlerini sağlamak için birçok sayıda boyut değişkeni ile gruplandırılabilirler. Optimizasyon sürecinden önce kolonların uygun bir şekilde gruplandırılmış olduklarından emin olmak önemlidir; aksi takdirde uygun gruplandırılmamış kolon elemanı tüm grup için uygun olmayan kesit seçimine yol açarak daha ağır bir tasarım elde edilmesinin sağlayabilir. Bu amaçla altı değişik problem ele alınmıştır. Her yapı hem dikey hem de yatay yüklere maruz bırakılmıştır. Yüksek yapılar için yanal yük olarak rüzgâr yükü uygulanırken yüksekliği düşük olan yapılar için ise deprem yükleri yanal yük olarak uygulanmıştır. Yapı elemanları daha önce anlatılmış olan kriterlere göre gruplandırılmışlardır. Her sistem iki ana durum altında dikkate alınmıştır. İlk durumda sadece boyut değişkenleri dikkate alınmış ve optimum ağırlık başlangıçta seçilen kolon oryantasyonu ile elde edilmiştir. İkinci durumda ise oryantasyon değişkenleri de tasarım değişkeni olarak alınmıştır. 960 elemanlı çelik çerçeve örneğinde aynı yapıya değişik rüzgâr yükleri uygulanmıştır. Sonuçlar ortaya koymuştur ki, kolonların optimal oryantasyonları yapı tasarımında başlangıç kolon oryantasyonu seçimine göre yapılan tasarımlardan %4 ile %8.5 arasında değişen değerlerde

daha düşük ağırlıklar elde edilmesine yol açmıştır. 568 elemanlı çelik çerçeve için, oryantasyon değişkenlerinin dahil edilmesi, elemanların oryantasyonlarında hiçbir değişiklik yapılmamasına göre %5.61 daha hafif sonuç doğurmuştur. Benzer şekilde 132 ve 1230 elemanlı çelik çerçeve örneklerinde kolon oryantasyonlarının optimal düzeni sırasıyla %3.7 ve %6.0 kadar çerçeve ağırlıklarında düşüş sağlamıştır. Son tasarım örneği olan 3590 elemanlı çelik çerçevede kolonların uygun oryantasyonu ile yapı ağırlığında %4 düşüş sağlanmıştır. Genel olarak bu çalışmada düşünülen beş tasarım örneği için tasarım işlemi boyunca kolon elemanlarının oryantasyonları optimize edildiği zaman %4 ile %8 arasında ağırlık düşüşü sağlanmıştır. Diğer taraftan 325 elemanlı çelik çerçevede seçilen başlangıç oryantasyonları optimizasyon algoritması tarafından elde edilen optimal oryantasyonlar ile karşılaştırıldığı için yapı ağırlığında gelişme görülmüştür.

Proje kapsamında ayriyeten yapıda rüzgar kuvvetlerine karşı koyan yanal çaprazlama sistemlerinin optimal konfigürasyonu incelenmiştir. Bunun için üç farklı yapı (10, 20 ve 30 katlı) 12 farklı çaprazlama modeliyle düşünülmüştür. Bu üç yapının hepsinde bütün çaprazlama modelleri kullanılarak optimum tasarımlar yapılmıştır. Bu tekniklerin stokastik doğasından dolayı her bir tasarım örneği beş kere çözülmüş ve ortalama performansları dikkate alınmıştır. Bu üç modelin, her grup elemanları için belirlenen çelik kesitler detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Modellerinin optimum ağırlıkları OPTSTEEL programı kullanılarak bulunmuştur. Minimum ağırlığa sahip olan modeller 10, 20 ve 30 katlılar için sırasıyla Model-G, Model-E ve Model-D 'dir. Ayrıca her model için maliyet hesabı, bu işlem için tanımlanmış olan formüllerle yapılmıştır. Hesaplamaların sonucu olarak minimum maliyete sahip olan modeller 10 ve 20 katlılar için Model-L, 30 katlı yapılar için Model-D olarak bulunmuştur. Tüm modellerin maliyetleri, yine tablo ve grafiklerle detaylı olarak verilmiştir.

BÖLÜM 10

REFERANSLAR

- [1] ASCE 7-05, “*Minimum Design Loads for Building and Other Structures*”, (2005).
- [2] ASD-AISC, “*Manual of Steel Construction-Allowable Stress Design*”, 9th edition, Chicago, Illinois, USA, (1989).
- [3] ANSI/AISC 360-05, “*Specification for Structural Steel Buildings*”, Chicago, Illinois, USA, (2005).
- [4] Camp, C. V., Bichon, J. B. ve Stovall S. P., “*Design of Steel Frames Using Ant Colony Optimization*”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 131 (3), 369-379, (2004).
- [5] Cerny, V., “*Thermo-dynamical Approach to the Traveling Salesman Problem: An efficient Simulation Algorithm*”, Journal of Optimization Theory and Applications, 45, 41-51, (1985).
- [6] Dorigo, M., “*Optimization, Learning and Natural Algorithms*”, PhD Thesis, Dipartimento Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, Italy, (1992).
- [7] Dumonteil, P., “*Simple Equations for Effective Length Factors*”, Engineering Journal, AISC, 29 (3), 111-115, (1992).
- [8] Fourie, P. ve Groenwold, A., “*The Particle Swarm Optimization Algorithm in Size and Shape Optimization*”, Structural and Multidisciplinary Optimization, 23 (4), 259-267, (2002).
- [9] Glover, F., “*Tabu Search-Part I*”, ORSA Journal on Computing, 1(3), 190-206, (1989).

- [10] Goldberg, D.E., “*Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*”, Addison Wesley, (1989).
- [11] Hasançebi, O., “*Discrete Approaches in Evolution Strategies Based Optimum Design of Steel Frames*”, Structural Engineering and Mechanics, 26(2), 191-210, (2007).
- [12] Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F. ve Saka, M.P., “*Performance Evaluation of Metaheuristic search Techniques in The Optimum Design of Real Size Pin Jointed Structures*”, Computers and Structures, 87, 284-302, (2009).
- [13] Hellesland, J., “*Review and Evaluation of Effective Length Formulas*”, Research Report, No. 94-2, University of Oslo, (1994).
- [14] Kennedy, J. ve Eberhart, R. “*Particle Swarm Optimization*”, IEEE International Conference on Neural Networks, IEEE Press, Vol. 4, 1942-1948,(1995).
- [15] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. ve Vecchi, M.P., “*Optimization by Simulated Annealing*”, Science, 220, 671-680, (1983).
- [16] Lazarus Project, “*Visual Programming Environment for the Free Pascal Compiler*”, <http://www.lazarus.freepascal.org>, (2009).
- [17] Lee, K.S. ve Geem, Z.W., “*A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm*”, Computers and Structures, 82, 781-798,(2004).
- [18] MPICH2 Library, “*High-Performance and Widely Portable Implementation of Message Passing Interface (MPI) standard*”, <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/>, (2009).
- [19] Pavlovic, L., Krajnc, A., ve Beg, D. “*Cost function analysis in the structural optimization of steel frames*”, Struct. Multidisc. Optimization. , 286-295, (2004).

- [20] Perez, R. E. ve Behdinan, K., “*Particle Swarm Approach for Structural Design Optimization*”, Computers and Structures, 85 (19-20), 1579-1588, (2007).
- [21] SAP2000 Design Manual v7, “*Integrated Finite Element Analysis and Design of Structure*”, Computers and Structures, Inc. , (1997).
- [22] Schwefel, H.-P., “*Kybernetische evolution als strategie der experimentellen forschung in der strömungstechnik*”, Diplomarbeit, Technische Universität, Berlin, (1965).
- [23] Taranath, B. S. “*Wind and Earthquake Resistant Buildings.*”, Florida: Taylor&Francis Group, (2005).
- [24] TS-648, “*Building Code for Steel Structures*”, 1st edition, Turkish Standard, Ankara, Turkey, (1980).
- [25] Venter, G. ve Sobieszczanski-Sobieski, J., “*Multidisciplinary Optimization of a Transport Aircraft Wing Using Particle Swarm Optimization*”, Structural and Multidisciplinary Optimization, 26, 121-131, (2004).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 108M070
Proje Başlığı: Stokastik Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Üç Boyutlu Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Optimum Tasarımı ve Ülkemiz Yapı Mühendisliğine Uygulanması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Oğuzhan Hasançebi, Prof. Dr. Mehmet Polat Saka
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -----
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.06.2008–01.12.2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu projeyle, genetik algoritmalar, evrimsel stratejiler, tabu arama, harmoni arama, karınca koloni, benzetimli tavlama ve partikül küme stokastik arama tekniklerinin optimum yapı tasarımında kullanımının araştırılması ve bu tekniklerin daha etkin kullanılmaları yönünde yeniden formüle edilmesi planlanmıştır. Çelik taşıyıcı sistemli binalar için ulusal ve uluslararası şartnamelerce öngörülen yük ve tasarım kriterleri altında optimum tasarımların gerçekleştirebileceği bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesi ve ülkemizde oldukça maliyetli olarak bilinen çelik yapıların daha ekonomik olarak tasarlanması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, sözü edilen sisteme sahip binaların düşük maliyetle inşa edilebilmeleri için tasarımlarında dikkat edilmesi gereken önemli hususların aydınlatılması ile (kolon doğrultu seçimi, yapı modeli seçimi, vs.) pratikte kullanılabilecek yararlı bilgilerin üretilmesi çalışmanın hedefleri içinde yer almıştır. Bu amaçla güncel hayattan alınan gerçek uygulamalarla, yapı optimizasyonu ile elde edilecek düşük maliyet miktarının reel olarak tespiti sağlanabilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Çelik Taşıyıcı Sistemli Yapılar, Yapı Optimizasyonu, Genetik Algoritmalar, Evrimsel Stratejiler, Tabu Arama, Harmoni Arama, Karınca Koloni, Benzetimli Tavlama, Partikül Küme
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: Hakemli Uluslararası Dergilerde Yapılan Yayınlar: 1. Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F. ve Saka, M.P., "Performance evaluation of meta-heuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures", Computers and Structures, Vol: 87, No: 5-6, Syf: 284-302, 2009. 2. Doğan, E., Hasançebi, O., ve Saka, M.P., A Refinement of Discrete Particle Swarm Optimization for Large-Scale Truss Structures", Asian Journal of Civil Engineering, Vol: 10, No: 3, Syf: 321-334, 2009.

3. Hasançebi, O., Erdal, F., ve Saka, M.P., “An Adaptive Harmony Search Method for Structural Optimization”, Journal of Structural Engineering ASCE, Vol:136, No: 4, Syf:419-431, 2010.
4. Hasançebi, O., Çarbaş, S., ve Saka, M.P., “Improving the Performance of Simulated Annealing in Large-Scale Structural Optimization”, Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol: 41, No: 2, Syf: 189-203, 2010.
5. Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F. ve Saka, M.P., “Comparison of non-deterministic search techniques in the optimum design of real size steel frames”, Computers and Structures, Vol: 88, No: 17-18, Syf: 1033-1048, 2010.
6. Hasançebi, O., Bahçecioglu, T., Kurç, Ö., ve Saka., M.P., “Optimum Design of High-Rise Steel Buildings using an Evolution Strategy Integrated Parallel Algorithm”, Computers and Structures, Değerlendirme altında, 2010.
7. Hasançebi, O., Yıldırım, İ., ve Saka, M.P., “Optimal Wind Bracing Systems For Multi-Storey Steel Buildings”, Değerlendirme Altında, 2010.
8. Hasançebi, O., Kızıllan, M. ve Saka, M.P., “Investigating The Effect of Column Orientations on Minimum Weight Design of Steel Frames”, Değerlendirme Altında, 2010.

Hakemli Uluslararası Konferanslarda Yapılan Yayınlar:

1. F. Erdal ve M. P. Saka, “Optimum design of castellated beams using harmony search method”, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, June 1-5, 2009, Lizbon, Portugal.
2. E. Doğan ve M. P. Saka, “Particle swarm design optimization of moment resisting steel frames with semi-rigid connections to LRFD-AISC”, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, June 1-5, 2009, Lizbon, Portugal.
3. S. Carbas, I. Aydoğdu ve M. P. Saka, “An adaptive harmony search algorithm based optimum design of steel frames according to LRFD-AISC”, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, June 1-5, 2009, Lizbon, Portugal.
4. Hasançebi, O., Bahçecioglu, T., Kurç, Ö., ve Saka., M.P., “Optimum Design of High-Rise Steel Buildings using an Evolution Strategy Integrated Parallel Algorithm.” The Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, 1-4 September, 2009, Madeira, Portugal.

5. Saka, M.P., Aydoğdu, İ. ve Hasançebi, O., “Evaluation of recent improvements in harmony search based structural optimization algorithms”, The Tenth International Conference on Computational Structures Technology, 14-17 September 2010, Valencia, Spain.